

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE HADJ LAKHDAR

BATNA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE MECANIQUE



## *Mémoire*

*Pour l'obtention du Diplôme de Magister en mécanique*

*Option : Science des matériaux*

*Présenté par : KARECHE Abdelhak*

---

*Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité,  
dégradation et propriétés structurales et de transfert.*

---

*Soutenu le 03 février 2014*

*Devant le jury d'examen:*

MIHI	Abdelkader	Prof.	Univ. Batna	Président
BENSAADA	Said	Prof.	Univ. Biskra	Examineur
AGOUDJIL	Boudjema	MCA	Univ. Batna	Rapporteur
AKSAS	Mounir	MCA	Univ. Batna	Examineur

*ANNEE UNIVERSITAIRE 2013 / 2014*

# **Remerciements**

*Ce travail a été initié, au Laboratoire de Physique Energétique Appliquée (LPEA), département de Physique faculté des sciences université hadj Lakdar Batna.*

*En premier lieu, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et ma gratitude à monsieur **Boudjmaa AGOUDJIL** maître de conférences de l'université de Batna. Merci d'accepter mes meilleurs sentiments et mes sincères Remerciements pour votre contribution et votre aide permanent durant le déroulement de ce travail.*

*Je tiens à remercier vivement et respectueusement à monsieur **Abdelkader MIHI**, professeur de l'université de Batna d'avoir bien voulu présider notre jury. Nous mesurons tout l'honneur qu'il nous fait.*

*Nous sommes particulièrement reconnaissants envers monsieur **Mounir AKSAS**, maître de conférences de l'université de Batna, pour l'acceptation d'expertiser ce travail*

*Nous adressons notre profonde gratitude à monsieur **Said BENZAADA**, professeur de l'université de Biskra, pour avoir accepté de faire partie de mon jury et la peine qu'il a pris pour le déplacement.*

*Mes remerciements s'adressent également à monsieur **A. Ghrabli**, enseignant au Département d'hydraulique pour sa disponibilité et l'intérêt qu'il a porté au sujet.*

*Je tiens à remercier chaleureusement monsieur **A. BOUDENNE**, directeur des études, département Chimie IUT Créteil –Vitry, Université Paris–Est Créteil Val de Marne. Je tiens à lui exprimer ma reconnaissance pour ses conseils et le soutien qu'il a bien voulu me faire profiter de son expérience pour la mesure des propriétés thermophysiques des échantillons de fibres de bois de palmier dattier et du mortier.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail:*

*A ma mère et mon père qui me sont  
les plus chers au monde*

*A mes frères et sœurs, à ma famille*

*A tous mes amis et collègues*

*A tous ceux qui m'ont aidé à finir ce  
mémoire.*

*A.KARECHE*

# **Listes de termes, d'abréviations, d'acronymes**

## Listes de termes, d'abréviations, d'acronymes

Symbole	définition	Unité
s	surface	m <sup>2</sup>
a	diffusivité thermique	m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
C <sub>p</sub>	chaleur spécifique	J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
λ	conductivité thermique	w.m <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup>
F	force	N
Rc	résistance de compression	MPa
H	taux d'humidité	%
m	masse	Kg
m <sub>h</sub>	masse humide	/
m <sub>s</sub>	masse sèche	/
m(t)	masse en fonction de temps	/
L	longueur	m
V	volume	m <sup>3</sup>
t	temps	s
T	température	°C
ΔT	différence de température	K
Ø	concentration de fibre de bois	%
Mt	Masse totale d'échantillon	Kg
Va	Volume absolu d'échantillon	m <sup>3</sup>
ρ <sub>ab</sub>	Masse Volumique Absolue	Kg/m <sup>3</sup>
P	porosité relative	%
V <sub>p</sub>	volume de pores	m <sup>3</sup>
V <sub>t</sub>	volume totale de matériau	/
m <sub>sat</sub>	masse à l'état de saturation de l'échantillon	kg
m <sub>sec</sub>	masse à l'état sec de l'échantillon	/
FBPD	fibre de bois de palmier dattier	-
FBPDA	fibre de bois de palmier dattier fine	-
FBPDB	fibre de bois de palmier dattier mixte	-
FBPDC	fibre de bois de palmier dattier grosse	-
M	mortier	-

## Table des matières

<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>REFERENCES</b> .....	<b>4</b>
<b>Chapitre I : Etude bibliographique</b>	
<b>I. BOIS DE PALMIER DATTIER</b> .....	<b>5</b>
I.1. MORPHOLOGIE DE BOIS DE PALMIER DATTIER BPD .....	5
I.1.1. Echelle macroscopique .....	5
I.1.2. Echelle ultra structure .....	6
I.1.3. Echelle de la microstructure .....	7
I.2. COMPOSITION CHIMIQUE .....	8
I.2.1. Cellulose .....	9
I.2.2. Hémicellulose .....	9
I.2.3. Lignines .....	10
I.2.4. Pectine .....	10
I.2.5. Autre composés .....	11
I.3. HYGROSCOPIQUE DU BOIS .....	11
I.3.1. L'eau dans le bois .....	12
I.3.2. Mesure du taux d'humidité dans le bois .....	12
I.4. PHENOLOGIE DU PALMIER DATTIER .....	13
I.4.1. Le tronc ou frondaison .....	14
I.4.2. La couronne .....	14
I.4.3. Palme .....	15
I.5. FIBRE DE PALMIER DATTIER .....	15
I.5.1. Structure des fibres .....	15
I.5.2. Estimation du tonnage du palmier dattier et ses sous produits .....	16
<b>II. CIMENT</b> .....	<b>16</b>
II.1. DEFINITION .....	16
II.2. CIMENT PORTLAND .....	17
II.3. MECANISME D'HYDRATATION .....	18
<b>III. COMPOSITE A BASE DE CIMENT ET DE BOIS</b> .....	<b>18</b>
III.1. EFFET DE BOIS SUR LA PRISE DE CIMENT .....	18
III.2. COMPATIBILITE DU BOIS A VEC LE CIMENT .....	20
III.3. MISE EN ŒUVRE DES MATERIAUX COMPOSITES .....	21
III.4. CARACTERISTIQUES DES PIECES COMPOSITES ET LEURS APPLICATION .....	22
III.5. DURABILITE DES COMPOSITES D'UNE MATRICE CIMENTAIRE A BASE DES FIBRES .....	24

III.6. DURABILITE DES BETONS DE FIBRES DE PALMIER DATTIER.....	24
III.6.1. Amélioration de la durabilité .....	24
III.6.2. Traitement de la fibre .....	24
III.6.3. Traitement de la matrice .....	25
IV. Conclusion .....	26
<b>IV. REFERENCE.....</b>	<b>27</b>

## **Chapitre II. Etude basé sur la littérature des composites naturels**

<b>I. DEGRADATION CHIMIQUE .....</b>	<b>31</b>
I.1. OXYDATION .....	31
I.2. GRIFFAGE CHIMIQUE .....	31
<b>II. DEGRADATION MECANIQUE.....</b>	<b>33</b>
II.1. DEGRADATION A L'ECHELLE DE LA FIBRE.....	35
II.2. DEGRADATIONS A L'ECHELLE DU PLI .....	35
II.2.1. Microfissuration transverse et délaminage.....	35
II.2.2. Rupture sens fibre.....	37
<b>III. SYNTHESE DES TRAVAUX REALISES SUR LES MATERIAUX COMPOSITES NATURELS .....</b>	<b>39</b>
<b>IV. CONCLUSION .....</b>	<b>48</b>
<b>V. REFERENCES .....</b>	<b>49</b>

## **Chapitre III : Etude expérimentale des composites à base de bois de palmier dattier et du mortier**

<b>I. MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES .....</b>	<b>52</b>
I.1. MATERIAUX .....	52
I.1.1. Fibres .....	52
I.1.2. Ciment.....	53
I.1.3. Ciment prompt(VICAT) .....	54
I.1.4. Adjuvant .....	55
I.1.5. Sable .....	55
I.1.6. Eau de gâchage .....	55
I.2. TECHNIQUE DE SECHAGE .....	56
I.3. TECHNIQUE DE SATURATION .....	58
I.4. PREPARATION DES ECHANTILLONS .....	60
I.4.1. Masse volumique absolue.....	62
I.4.2. Techniques de mesure des propriétés thermophysiques de composite de fibres de BPD. ....	63
I.4.3. Technique de surfaçage .....	67

I.4.4. Mesure de la résistance à la compression .....	68
I.4.5. Analyse de surface .....	69
I.5. TECHNIQUE D'ETUDE DE DEGRADATION.....	70
II. CONCLUSION.....	70
<b>II. REFERENCES .....</b>	<b>71</b>
<b>Chapitre IV : Etude comparative et discussion de résultats</b>	
<b>I. EFFET DE L'EAU SUR LES FIBRES DE BOIS DE PALMIER DATTIER.....</b>	<b>72</b>
I.1. RESISTANCE A L'EAU DES FIBRES DE BOIS DE PALMIER DATTIER.....	72
I.2. INFLUENCE DE L'HUMIDITE SUR LES FIBRES DE BOIS DE PALMIER DATTIER.....	73
I.3. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LES FIBRES DE BOIS DE PALMIER DATTIER .....	74
<b>II. PROPRIETES DU COMPOSITE AVEC DES FIBRES DE BPD ET DU MORTIER</b> .....	<b>76</b>
II.1. PERTE DE MASSE DES COMPOSITES AVEC DES FIBRES DE BPD ET DU MORTIER .....	76
II.2. STABILITE DIMENSIONNELLE DES COMPOSITES DES FIBRES DE BPD ET DU MORTIER .....	77
II.3. EVOLUTION DE LA MASSE VOLUMIQUE DES COMPOSITES DES FIBRES DE BPD ET DU MORTIER .....	80
<b>III. PROPRIETES THERMOPHYSIQUES DES COMPOSITES DES FIBRES DE BPD ET DU MORTIER .....</b>	<b>83</b>
III.1. ETAT SEC .....	83
III.1.1. Conductivité thermique.....	83
III.1.2. Diffusivité thermique .....	83
III.1.3. Chaleur spécifique volumique .....	84
III.2. ETAT HUMIDE .....	85
III.2.1. Conductivité thermique.....	85
III.3. PROPRIETES MECANIQUES .....	89
III.3.1. Résistance à la compression.....	89
III.4. DEGRADATION DES ECHANTILLONS .....	91
III.5. CONCLUSION .....	92
<b>IV. RÉFÉRENCES.....</b>	<b>94</b>
<b>CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>96</b>

# **Introduction**

La société actuelle vit au-dessus de ses moyens. Elle consomme trop d'énergie et épuise rapidement bon nombre de matières premières.

La signature des accords de Kyoto a constitué une étape majeure dans la prise de conscience collective de la nécessité de préserver notre environnement en luttant contre le réchauffement de la planète.

Compte tenu de son large potentiel d'amélioration, le bâtiment apparaît comme un secteur clef des programmes d'économie d'énergie. Il est possible de diminuer significativement cette consommation en renforçant l'isolation thermique des bâtiments existants et en utilisant des matériaux de construction très isolants et à faible énergie grise pour les nouvelles constructions.

L'usage des matériaux naturels, après transformation, répond à ces besoins par leur pouvoir isolant et parce qu'ils produisent relativement peu d'impacts négatifs sur l'environnement lors de leur production. Isoler sa maison est une démarche écologique. Par exemple, en Europe, 40% de la consommation d'énergie vient du secteur du bâtiment selon les chiffres de l'agence d'environnement européen(EEA).

L'isolation thermique de tous les bâtiments permettrait d'économiser 460 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> en Europe uniquement.

Cela contribuerait à lutter efficacement contre le réchauffement de la planète. Isoler sa maison est donc un véritable acte citoyen pour la planète.

Dans un contexte énergétique et environnemental difficile, il est urgent de proposer, en parallèle des solutions actives, des techniques passives bioclimatiques, qui permettent de satisfaire les exigences de confort dans les bâtiments sans surcharger les moyens de production d'énergie auxiliaires.

L'utilisation des matériaux naturels et locaux comme isolants représente cette alternative prometteuse, aux systèmes actifs pour le chauffage ou la climatisation.

Plusieurs types d'isolants commerciaux existent dans le marché. Il s'agit des (1) Matériaux fibreux inorganiques : fibre de verre et laine de roche, (2) Matériaux fibreux organiques : laine, coton, chanvre,..., (3) Mousses inorganiques : mousse de verre, béton cellulaire autoclavé, (4) Mousses organiques : polyuréthane, polystyrène,..., (5) Matériaux

ligneux : bois légers, paille agglomérée au ciment,... (6) liège et (7) Isolants minces réfléchissants.

Les isolants les plus couramment utilisés sont la laine de roche et laine de verre pour leurs caractéristiques remarquables. Cependant, en plus des inquiétudes concernant leur caractère cancérogène, ces deux matériaux provoquent avec certitude des irritations cutanées et respiratoires lors de leur pose [1]. Donc, les matériaux naturels écologiques sont là pour les remplacer. Les produits les plus utilisés sont le liège et le chanvre.

Plusieurs travaux démontrent que les performances mécaniques des matériaux composites à fibres naturelles (CFN) rapportées aux densités de ces dernières sont comparables à celles des composites à fibres de verre [2,3].

L'objectif de ce travail consiste à apporter notre contribution à la valorisation des ressources locales en l'occurrence les fibres végétales de palmier dattier à faible coût et provenant d'une source renouvelable et de l'intégrer d'une façon rationnelle dans le domaine de la construction.

Actuellement le plus grand problème qui limite l'utilisation des fibres végétales dans les matrices cimentaires est leur faible durabilité aux alcalis cimentaires.

Le présent travail s'intéresse à l'étude des caractéristiques mécaniques, morphologiques et thermophysiques du mortier renforcé de fibres végétales de palmier dattier. Par ailleurs, l'étude de l'influence de la concentration de fibres de bois sur la matrice cimentaire et la dégradation des fibres de palmier dattier a été effectuée.

Ce mémoire est scindé en quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique, en présentant les caractéristiques des constitutions des bétons renforcés par les fibres de palmier dattier, leurs différents types, et leurs applications, ainsi que l'étude de leur durabilité et les moyens utilisés pour l'améliorer.

Dans le deuxième chapitre, une synthèse bibliographique sur le comportement et la dégradation des fibres et des composites bétons/fibres est présentée.

Les méthodes d'élaboration et de contrôle des échantillons sont développées dans le troisième chapitre.

Dans le quatrième chapitre, En se basant sur les résultats obtenus, nous donnons quelques discussions.

Enfin, nous espérons que ce travail apportera une contribution au développement et à la valorisation des fibres végétales du palmier dattier comme un matériau isolant de construction en climat froid et chaud.

## **Références**

- [1] EYROLLES, " Paul de Haut, Chauffage, isolation et ventilation écologique," Livre, 2007.
- [2] I.Van de Weyenberg, et al., " Improving the properties of UD flax fibre reinforced composites by applying an alkaline fibre treatment," Compos Part A: App Sci and Manufacturing. Vol. 37(9). pp. 1368-1376, 2006.
- [3] Pickering, K.L., et al., "Optimising industrial hemp fibre for composites," Compos Part A: App Sci and Manufacturing. Vol. 38(2). pp. 461-468, 2007.

# **Chapitre I**

## **Etude bibliographique**

Dans ce premier chapitre, nous présentons une étude bibliographique sur les matériaux naturels. La première partie est consacrée à la présentation des matériaux naturels; leurs constitution, leur structure, leur composition chimique et les méthodes de l'extraction des fibres. Puis, on présente les caractéristiques des fibres de bois de palmier dattier, qui sont très intéressantes dans ce travail.

Dans la deuxième partie, on présente les caractéristiques de ciment, ses réactions sur les fibres de bois, puis les composites naturels ; la mise en oeuvre, l'application et la durabilité.

## I. Bois de palmier dattier

### I.1. Morphologie de bois de palmier dattier BPD

Le bois est une ressource naturelle renouvelable produit par l'arbre au cours de sa croissance. Comme la plupart des matériaux naturels, le bois est un matériau hétérogène ; ses propriétés physico-chimiques, mécaniques et biologiques varient extrêmement d'une espèce à l'autre. Les différences de comportement existent également à l'intérieur d'une même espèce, d'un même peuplement et d'un même arbre [1, 2]

#### I.1.1. Echelle macroscopique

Le bois possède des structures complexes à différentes échelles d'observation. A l'échelle macroscopique, nous distinguons trois directions principales. Sur un tronc d'arbre, la direction longitudinale L est celle qui est parallèle à l'axe du tronc (voir la figure I.1). Sur une coupe transversale du tronc, il y a le sens radial R qui va de l'écorce vers le centre occupé par le bois de cœur et le sens tangentiel T qui est un sens circonférentiel tangentiel aux cernes de croissance.

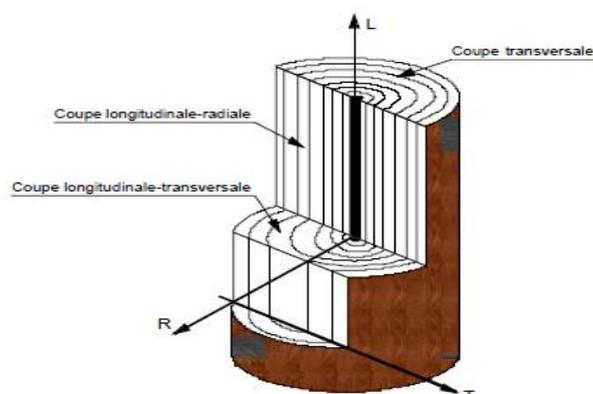
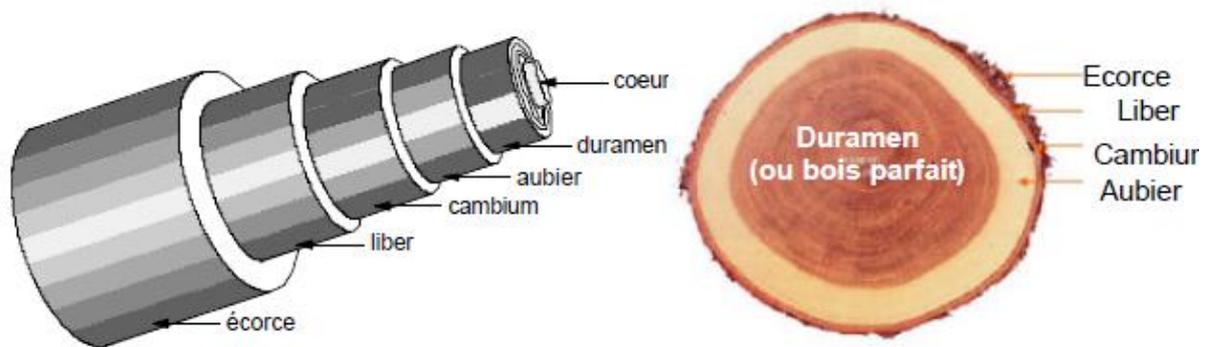


Figure I.1: Coupe d'un tronc d'arbre [1].

Nous pouvons aussi distinguer plusieurs types de bois dans un même arbre (voir la figure I.2). De la périphérie vers le centre, d'abord l'écorce qui sert de couche protectrice, ensuite le liber assurant la circulation de la sève élaborée en périphérie des branches vers les racines et le cambium qui génère l'aubier qui transporte la sève brute des racines vers les branches. Au fur et à mesure que les cernes de croissance se forment, les anciens cernes finissent leurs rôles de transporteur de sève et deviennent le duramen ou bois parfait.

Ils servent alors de support à l'arbre qui continue d'accroître son poids et de se développer.

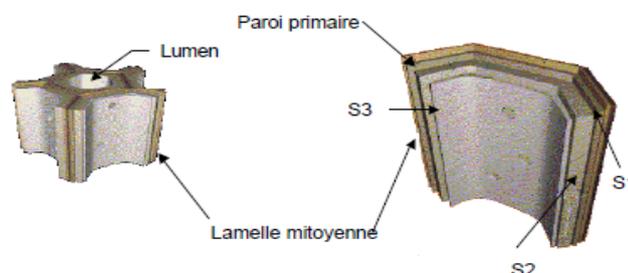


**Figure I.2:** Disposition des différents types de bois dans un arbre [1].

### I.1.2. Echelle ultra structure

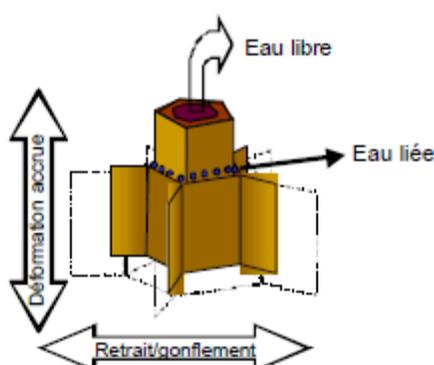
A l'échelle du micron, le bois possède une paroi cellulaire constituée de deux sous parois. La sous-paroi primaire d'épaisseur  $0.1\mu\text{m}$  est constituée de microfibrilles orientées aléatoirement. A l'état vert du bois, cette sous-paroi contient énormément d'eau. Le retrait de l'eau peut faire diminuer son épaisseur jusqu'à  $0.03\mu\text{m}$  (voir la figure I.3). La sous paroi secondaire est constituée de trois couches (S1, S2, S3) dont la couche centrale S2 peut représenter 85% de l'épaisseur totale de la sous-paroi ; les deux autres couches étant pratiquement identiques. Les micro-fibrilles, qui constituent cette sous paroi secondaire, sont orientées sous forme de spirales croisées. L'orientation de ces micro-fibrilles est de  $50^\circ$  à  $90^\circ$  (ou  $60^\circ$  à  $80^\circ$ , selon les auteurs) par rapport à l'axe de la cellule dans les couches S1 et S3 est de  $5^\circ$  minimum à  $30^\circ$  ou  $40^\circ$  maximum dans la couche S2. Ces couches qui diffèrent de par leur épaisseur et l'orientation des micro-fibrilles qui les constituent. L'épaisseur totale peut aller de  $4$  à  $10\mu\text{m}$ . Selon le type de bois (naturelle, sec, normal et traité etc.).

L'orientation moyenne des micro-fibrilles est à l'origine de l'anisotropie observée sur les phénomènes de retrait-gonflement hydrique [1]. Les propriétés dans la direction longitudinale peuvent trouver leur explication par l'inclinaison des microfibrilles dans la couche S2[2-4].



**Figure I.3 :** Composition de la paroi cellulaire [1]

L'association des parois cellulaires est marquée par la présence d'une lamelle mitoyenne riche en lignine et d'un canal libre appelé lumen à travers lequel l'eau peut circuler librement. La lamelle mitoyenne a un rôle prépondérant dans la contribution aux propriétés mécaniques puisque c'est elle qui fait le lien entre les cellules. Lors d'une sollicitation mécanique, la lamelle mitoyenne et la paroi primaire peuvent glisser sur les couches S1 et S2 avec plus ou moins de facilité selon la présence d'eau sur les parois, ce qui offre au bois des propriétés mécaniques différentes selon la quantité de cette eau présente sur ces parois. Cette eau est appelée eau liée ou eau hygroscopique (voir la figure I.4).



**Figure I.4 :** Eau libre et eau hygroscopique dans le bois [1]

Ajoutons à cela l'existence d'une couche gélatineuse très faiblement liée à la paroi cellulaire. Elle est composée de micro-fibrilles orientée verticalement et possède une propriété de retrait importante [2].

### I.1.3. Echelle de la microstructure

Le bois est formé essentiellement de trachéides orientées dans le sens longitudinal. On peut distinguer des trachéides de bois de printemps ou bois initial et celles de bois d'été ou bois final. Elles sont de forme allongée, de section transversale polygonale et creuse. Les trachéides de bois de printemps ont des parois minces avec un diamètre intérieur important ; ce qui donne une masse volumique faible. Au contraire, les trachéides de bois d'été ont des parois épaisses mais un diamètre intérieur faible et une masse volumique importante. Ceci est visualisé sur la figure I.5 où l'on distingue nettement l'interface entre le bois initial et le bois final [2]

Ces trachéides possèdent, sur leurs parois, des punctuations aréolées qui jouent le rôle de régulateur des écoulements. Ils sont plus larges et plus nombreux dans le bois d'été. Parallèlement aux trachéides, les canaux résinifères, entourés de cellules qui produisent de la résine, assurent la circulation de celle-ci. Dans le sens radial, les rayons ligneux transportent la sève.

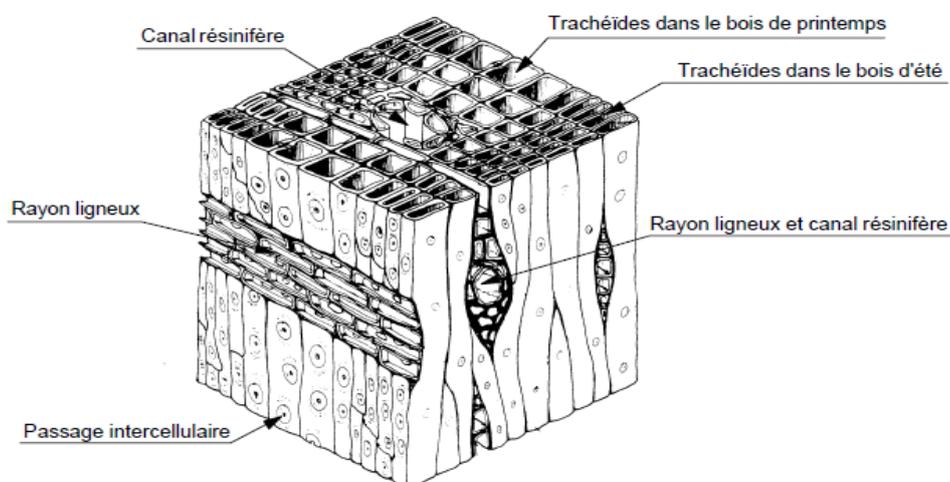
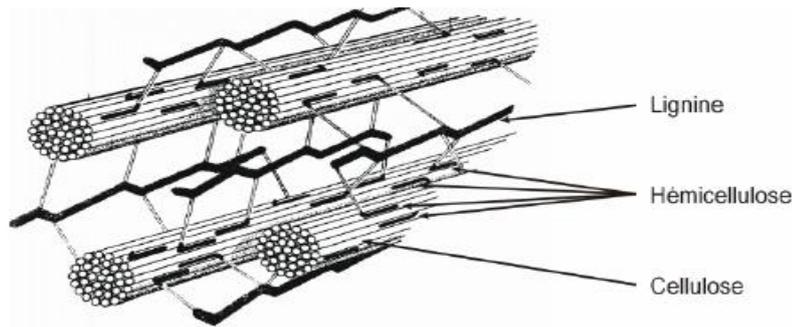


Figure I.5 : Organisation cellulaire d'un résineux [2].

## I.2. Composition chimique

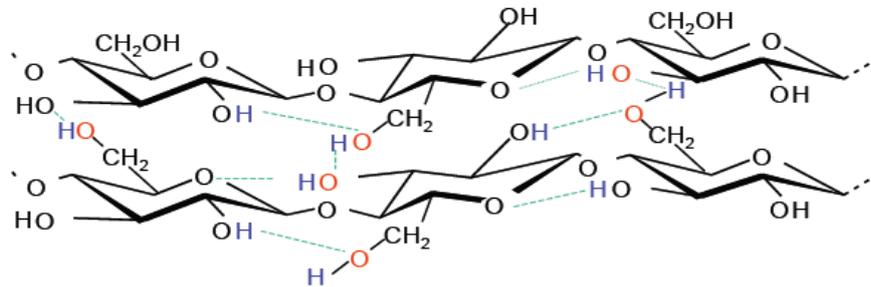
Nous venons de voir que le bois est un matériau très hétérogène ; sa composition chimique est donc complexe. On peut classer les matériaux de structure en trois catégories : la cellulose, les hémicelluloses et les lignines, organisées dans une structure composite (voir la figure I.6).



**Figure I.6:** Représentation schématique de l'organisation des polymères pariétaux dans une fibre de bois [5].

### I.2.1. Cellulose

C'est un polymère régulier du glucose, de formule  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Des liaisons hydrogène intramoléculaires et intermoléculaires, dues aux nombreux groupements hydroxyles de la chaîne, favorisent l'arrangement de celle-ci en domaines cristallins, avec des zones amorphes à intervalle d'environ 30 nm (voir la figure I.7).



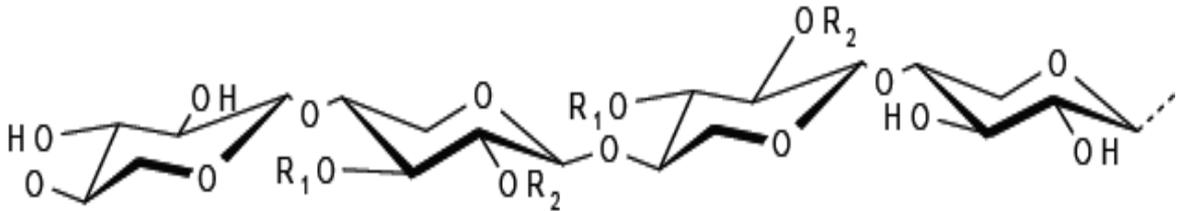
**Figure I.7:** Structure de la molécule de cellulose [5].

Les micros fibrilles de cellulose forment un système élastique de résistance mécanique, chimique et thermique. La cellulose est responsable de l'essentiel des propriétés mécaniques du bois [5].

### I.2.2. Hémicellulose

Ce sont des polysaccharides (pentosanes, xylanes, ...) à chaînes plus courtes que celles de la cellulose (voir la figure I.8). Elles sont hydrophiles et susceptibles de gonfler au contact de l'eau, ce qui les rend responsables de l'instabilité dimensionnelle du bois. La composition des monomères de départ dépend de la famille de bois (résineux ou feuillu) considérée. Le

groupe des hémicelluloses peut donc être scindé en sous-groupes nommés selon le monomère : xylanes, mannanes, galactanes et glucanes [5].

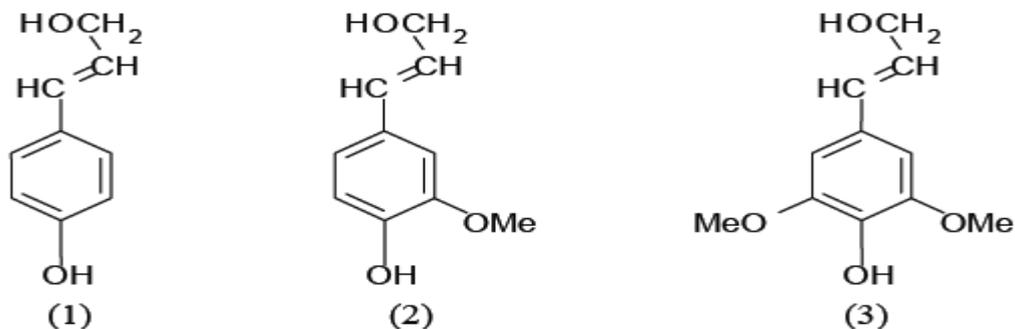


**Figure I.8:** Structure des chaînes polymères des hémicelluloses [5].

### I.2.3. Lignines

Ce sont des polymères tridimensionnels complexes, essentiellement phénoliques, et dont la structure est différente selon la famille de bois et les éléments morphologiques (fibres, rayons, vaisseaux).

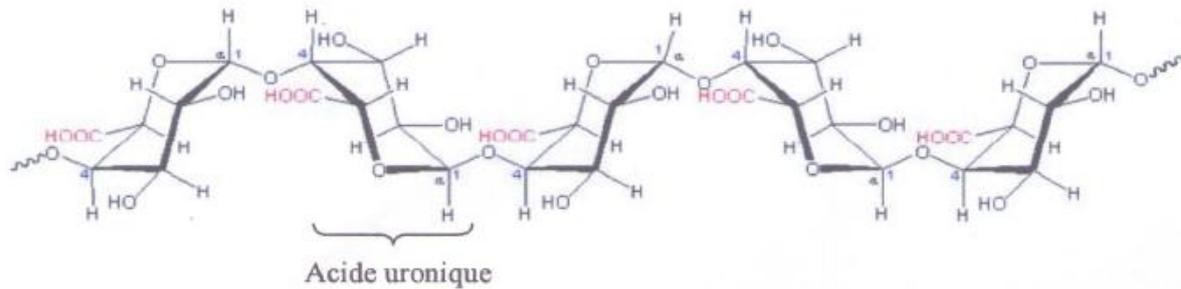
Les lignines sont totalement amorphes, et présentes dans la lamelle mitoyenne sous forme d'un réseau 3D aléatoire ainsi que dans la paroi secondaire sous forme d'un réseau 2D organisé. Les trois monomères sont des alcools phénylpropénoïques : p-coumarylique (1), coniférol (2) et sinapyl (3) (voir la figure I.9).



**Figure I.9:** Les trois alcools constitutifs des lignines [5].

### I.2.4. Pectine

La pectine est un polymère acide, composée d'une chaîne d'acide uronique (l'acide uronique est obtenu par oxydation du dernier carbone de sucre) [6]. Elle fournit la flexibilité à la plante [7].



**Figure I.10** : Structure d'une chaîne d'acide uronique [8]

### I.2.5. Autre composés

#### ➤ Sucres et oligosaccharides

Les sucres sont des molécules présentes dans le bois en faible quantité. On rencontre à la fois des monomères (D-glucose, D-mannose, D-galactose, D-fructose, L-arabinose, D-xylose, L-rhamnose et D-fucose) et des oligomères (raffinose ; sucrose et mélibiose). Ces derniers sont formés à partir du raffinose par élimination enzymatique du D-fructose [9].

#### ➤ Les composés aliphatiques

Une grande partie des acides gras présents dans le bois sont combinés, à partir de leur forme ester, avec la glycérine. Ils sont regroupés en deux classes : les acides gras insaturés comme les acides oléiques ( $C_{17}H_{33}COOH$ ) et linoléiques ( $C_{17}H_{31}COOH$ ) et les acides gras saturés comme l'acide palmitique ( $C_{15}H_{31}COOH$ ) [9].

### I.3. Hygroscopique du bois

L'hygroscopie est une caractéristique très importante du bois puisqu'elle rend le matériau sensible aux conditions climatiques environnantes (humidité et température). Le bois « mort » va s'imprégner d'une certaine quantité d'eau afin d'établir un équilibre avec son environnement. Les variations d'humidité peuvent entraîner des modifications du bois (densité, dimensions, propriétés mécaniques et résistance aux champignons). L'eau joue un rôle de plastifiant pour la chaîne polymère constituant les parois cellulaires et augmente la mobilité des chaînes. Le taux d'humidité doit alors être connu, voire maîtrisé, avant toute mesure de chacune des propriétés du matériau. L'hygroscopie a pour conséquence de rendre délicate l'utilisation du bois en tant que matériau [8,10].

### I.3.1. L'eau dans le bois

L'eau dans le bois se présente sous plusieurs phases :

- **Eau libre ou capillaire**

Elle occupe les vides cellulaires et est soumise aux forces capillaires et de gravité. Ces forces de capillarité sont responsables du transport de la sève brute (des racines vers la cime des arbres) [10].

- **Eau liée ou adsorbée**

C'est cette eau qui est à l'origine des modifications physiques et mécaniques du bois tel que le retrait/gonflement libre. C'est une eau dite hygroscopique liée principalement sur les chaînes cellulosiques qui composent les parois cellulaires. Tant que l'eau libre est présente dans les cavités, ces parois cellulaires sont saturées et la quantité d'eau liée est appelée «point de saturation des fibres » ou PSF [10].

- **Vapeur d'eau**

La vapeur d'eau est présente dans les cavités et les micropores dans le cas où ces derniers ne sont pas saturés en eau libre. Si l'eau libre est présente, la pression de la vapeur prend sa valeur saturante, si l'eau libre n'existe pas dans les cavités, la vapeur entre en équilibre thermodynamique avec l'eau liée présente sur les parois cellulaires. Cette vapeur d'eau n'est pas «titrable », c'est à dire que l'eau sous forme vapeur n'est pas quantifiable par une simple connaissance de l'état hydrique d'un échantillon. D'autres paramètres liés à la structure du matériau de bois, notamment la porosité, sont nécessaires pour quantifier la vapeur d'eau dans une pièce de bois [10].

- **Eau de constitution**

Elle participe à l'élaboration des molécules du squelette du matériau [10].

### I.3.2. Mesure du taux d'humidité dans le bois

La détermination expérimentale de la teneur en eau dans le bois peut se faire de diverses manières :

**a-Mesure par pesée :** Le taux d'humidité (H) d'un échantillon de bois s'exprime en pourcentage. Il est égal à la masse d'eau comprise dans l'échantillon ( $M_H$ ) par rapport à la masse anhydre  $M_0$ .

$$H(\%) = \frac{M_H - M_0}{M_0} \times 100 \quad (\text{I.1})$$

Avec  $M_H$  la masse de l'échantillon à l'air ambiant,  $M_0$  la masse de l'échantillon anhydre. La norme française (NF B 51-004 février 1942) préconise de mesurer la masse anhydre d'un échantillon après séchage à  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  jusqu'à obtention d'une masse constante [9].

**b- Mesure basée sur les propriétés électriques du bois :** La résistivité du bois varie en fonction de sa teneur en eau. Ainsi, en déterminant sa résistance électrique ou sa conductivité, on peut remonter au taux d'humidité. Cependant, la précision de la mesure dépend, entre autres, de la gamme d'humidité explorée et de la fiabilité de l'étalonnage. Cette méthode non destructive donne une information locale du taux d'humidité avec un temps de mesure relativement court [10].

**c- Mesure par adsorption d'un rayonnement X :** C'est la méthode la plus sophistiquée pour mesurer la densité et le taux d'humidité du bois. Le système de mesure consiste à balayer par des rayons X la pièce en bois et à mesurer au moyen d'un détecteur le spectre de la face opposée [10].

**d- Mesure par sonde de l'humidité relative :** La mesure est effectuée par une sonde enfoncée dans une cavité forée dans le bois qui détermine l'humidité relative de l'air emprisonné à l'intérieur. La courbe isotherme de sorption du matériau permet ensuite de remonter à la teneur en eau locale du bois. La plage de mesure de la sonde s'étend de 6% à 98% avec une précision de 1 % [8].

#### I.4. Phénologie du palmier dattier

Le palmier dattier est un arbre à feuilles persistantes. Celles-ci portent le nom de palmes et ont une durée de vie de 3 à 7 ans, leur formation s'achève en une année. Après une légère période de repos, la période végétative commence par l'apparition de nouvelles palmes ou palmes de l'année. Au début de la période reproductrice, et à l'aisselle des feuilles ou palmes, des bourgeons donnent naissance à des spathes. Le palmier dattiers est dioïque [11]. En effet, Le palmier est une herbe géante de 20 à 30m de hauteur, au tronc cylindrique (le stipe), portant une couronne de feuilles, les feuilles sont pennées, divisées avec une longueur de 4 à 7m. Il porte des inflorescences mâles ou femelles[12].

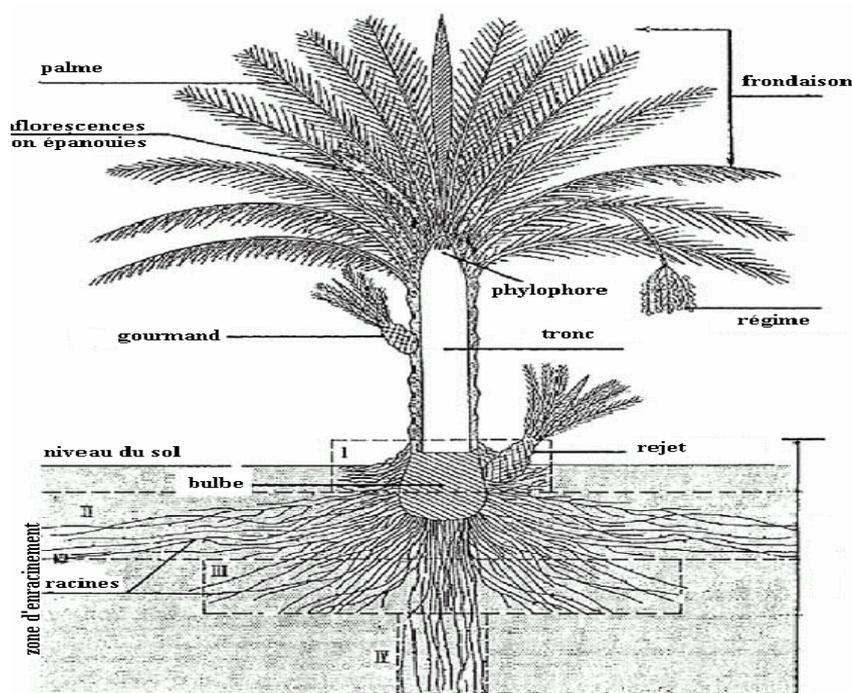


Figure I.11: Morphologie du palmier dattier [13].

#### I.4.1. Le tronc ou frondaison

Le palmier dattier a un tronc unique colonnaire sans branche appelé stipe. Le stipe se termine par un bourgeon terminal unique produisant des feuilles appelé espalmes (frondes), il est généralement cylindrique. L'enveloppe extérieure, l'écorce, n'est qu'une expansion de la base des pétioles des feuilles [14]. Les fibres des pétioles ne forment point un tissu comme dans le bois ordinaire. Ce tissu présente des couches assez semblables à des toiles d'araignées (ils sont placés sans ordre, les uns à côté des autres). Le tronc n'est composé que des fibres pétiolaires superposées les unes sur les autres de l'intérieur à l'extérieur [15]. Ceci explique pourquoi le bois est plus dur à l'extérieur qu'à l'intérieur [16].

#### I.4.2. La couronne

On appelle la couronne, l'ensemble des palmes vertes. Le nombre des palmes chez un palmier dattier adulte peut atteindre de 50 à 200 palmes. Elles sont émises par le bourgeon terminal ou « phyllophore ».

### I.4.3. Palme

La palme ou « Djérid » est une feuille pennée dont les folioles sont régulièrement disposées en position oblique le long du rachis qui s'étend au pétiole.

Les segments inférieurs sont transformés en épines, plus ou moins nombreuses, et plus ou moins longues. Le pétiole (Kornaf) est dur et relativement rigide [17].

Chaque année, le palmier dattier produit un certain nombre de palmes à partir de bourgeon et perd un nombre similaire de palmes par dessèchement [17, 18].

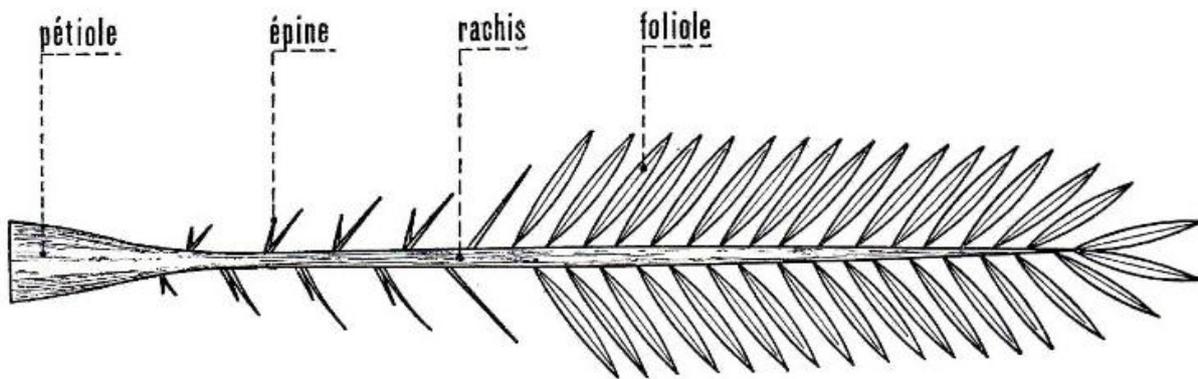


Figure I.12: Schéma d'une palme de palmier dattier [18].

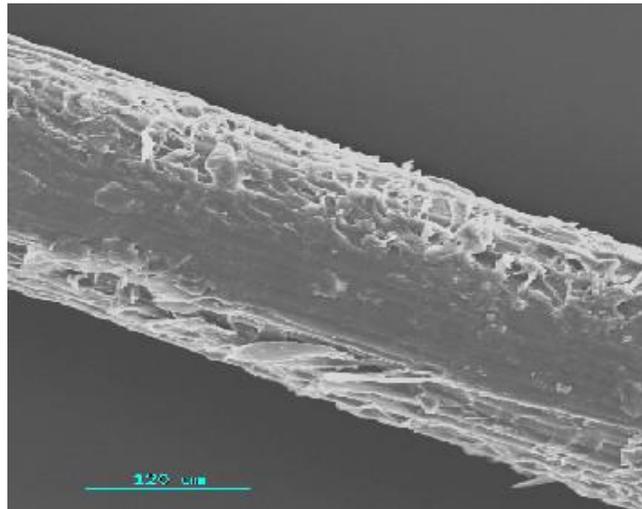
### I.5. Fibre de palmier dattier

Le palmier dattier a une structure fibreuse, possédant quatre types de fibres [19].

- fibres de bois de tronc.
- fibres de feuilles au niveau des pédoncules.
- fibres de tige au niveau des tiges des pédoncules et du support dattier (grappe).
- fibres de surface autour de son tronc ou de bases de palmes (pétiole)
- fibres de liffe (entre les Kornafs, le tronc est recouvert d'une bourre fibreuse que l'on appelle le liffe).

#### I.5.1. Structure des fibres

Les techniques microscopiques comme la microscopie électronique à balayage (MEB) et la microscopie électronique à transmission (MET), sont généralement utilisés pour l'analyse de la microstructure des fibres [19, 20] La figure I.13 présente un exemple de l'examen de la fibre de palmier dattier par microscope à balayage (MEB).



**Figure I.13:** Micrographie de fibre de palmier dattier par microscope à balayage [19, 20]

### **I.5.2. Estimation du tonnage du palmier dattier et ses sous produits**

Selon la littérature [19, 21, 22], il existe environ 100 millions de palmier dattier dans le monde. Les palmes sèches et fraîches sont découpées chaque année. Une estimation annuelle des palmes découpées est évaluée à 1130 000 tonnes.

En Algérie, le nombre de palmier dattier est plus de 10 millions arbres[23], avec plus de 800 variétés [19]. Le tonnage de la partie consommable des palmes sèches est environ de 135 103 tonnes de palmes sèches / an, les pédicelles de dattes est environ de 5 103 tonnes de pédicelles / an, avec 67500 tonnes de rebuts de dattes[20, 22].

## **II. Ciment**

### **II.1. Définition**

Le terme ciment est dérivé du latin "Caementum" qui signifie mortier, liant des maçonneries. Ce sens d'origine a été conservé en s'appliquant seulement aux liants hydrauliques. Un liant hydraulique est une matière inorganique finement mouluë qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit. Il existe une grande variété de ciments. À titre d'exemple, la norme EN 197-1 regroupe les ciments courants utilisés dans l'union européenne[24].

## II.2. Ciment portland

Le ciment Portland est constitué principalement de clinker. Ce dernier est obtenu par mélange de matières premières naturelles de composition chimique adéquate. La préparation du cru consiste à mélanger de manière homogène du calcaire (80%) et des minéraux riches en silice et alumine (20%) : l'argile ou le kaolin. Le cru est ensuite calciné à 1450°C pour former le clinker. Le clinker doit répondre à certains critères de composition chimique répertoriés (voir le tableau I.1) [8].

**Tableau I.1 :** *Composition chimique du clinker de ciment portland ordinaire* [25]

oxyde	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
(%)	62-67	19-25	2-9	1-5	0-3	1-3	0.6	0.2

Le clinker est mélangé avec environ 5% de gypse (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) et d'éventuels minéraux complémentaires pour constituer le ciment.

Une notation abrégée est couramment employée dans l'industrie cimentière pour désigner les différents oxydes : C = CaO, S = SiO<sub>2</sub>, A = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, F = Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, H = H<sub>2</sub>O, S = SO<sub>3</sub>.

Les principaux constituants du clinker sont : l'alite (C<sub>3</sub>S), la bélite (C<sub>2</sub>S), l'aluminate tricalcique (C<sub>3</sub>A) et l'alumine ferrite tétracalcique (C<sub>4</sub>AF), ils représentent plus de 95% du ciment Portland. Le clinker est constitué principalement de quatre phases minérales issues de la combinaison chimique de la chaux (CaO) avec la silice (SiO<sub>2</sub>), l'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et l'oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (tableau. I.2). Il contient également des phases mineures : la chaux libre (CaO), la périclase (MgO), l'aphthitalite [(Na,K)2SO<sub>4</sub>], l'arcanite (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), la thénardite (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)...

**Tableau I.2 :** *Composition minéralogique moyenne du clinker de ciment portland* [25-28].

Minérale	formule chimique	Notation cimentaire	Proportion en masse
Silicate tricalcique	3CaO. SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S	60-75 %
Silicate bicalcique	2CaO. SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S	10-20 %
Aluminate tricalcique	3CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	8-12 %
Alumino-ferrite tétracalcique	4CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF	8-10 %

### II.3. Mécanisme d'hydratation

La notion d'hydratation regroupe la totalité des réactions chimiques mises en jeu entre le ciment et l'eau. Le processus est initié dès qu'il y a contact entre les deux phases. Les mécanismes fondamentaux de l'hydratation du ciment ont été élucidés dès la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Il a notamment décrit trois étapes relatives à la prise du ciment [25] :

- La dissolution des constituants du ciment.
- La formation de solutions sursaturées par rapport aux différents hydrates.
- La précipitation et la cristallisation de ces hydrates dans les vides inters granulaires.

### III. Composite à base de ciment et de bois

Les composites bois/ciment sont des matériaux constitués de particules ou de fibres de bois liées entre elles par du ciment. À noter qu'il existe également des composites à base de produits végétaux autres que le bois, comme le bambou, le sisal, le lin et la bagasse [29-31].

Bien que de nombreux produits existent déjà sur le marché, les connaissances concernant les composites bois/ciment restent encore limitées. Il existe notamment un problème de compatibilité entre le ciment et certaines essences de bois, qui ne peuvent donc pas être valorisées sous cette forme. Des problèmes de stabilité dimensionnelle et de vieillissement du composite exposé à des variations d'humidité importantes ont également été reportés [24].

#### III.1. Effet de bois sur la prise de ciment

Toutes les espèces ne réagissent pas favorablement aux matériaux inorganiques. Un problème qui limite la fabrication des panneaux bois et liants inorganiques sont les faibles niveaux de compatibilité du bois avec le matériau inorganique.

Quelques espèces de bois peuvent donner d'excellents panneaux avec les matériaux inorganiques. Par ailleurs, il y a des espèces qui ne peuvent pas être utilisées de manière satisfaisante [32].

Les sucres solubles dans l'eau, glucosides, composantes phénoliques, tanins et produits extractibles du bois inhibent l'hydratation du ciment, prolongeant la période de prise, diminuant la quantité et la taille des cristaux essentiels pour la résistance des matériaux

inorganiques, c'est-à-dire, qu'ils ont un effet négatif sur la compatibilité entre le bois et le matériau inorganique. Plus la quantité d'extractibles est grande, plus l'incompatibilité du bois avec les matériaux inorganiques sont faibles. Généralement, les espèces avec une quantité égale ou supérieure à 70 % d'extractibles solubles dans l'eau sont considérées comme des espèces incompatibles [33].

Les matériaux solubles dans l'eau du bois ont un grand pouvoir inhibiteur sur le ciment. Cependant, la relation entre la quantité d'extractibles solubles dans l'eau et la compatibilité bois/ciment n'est pas claire. Ainsi, les différentes espèces peuvent avoir une même compatibilité, même si elles ont différentes quantités d'extractibles [34].

De plus, différentes espèces avec la même quantité d'extractibles peuvent avoir différents niveaux de compatibilité. Cela montre que la composition chimique des extractibles joue un rôle important dans la compatibilité entre le bois et le ciment. La compatibilité pourrait dépendre du type d'extractible.

Généralement, les conifères sont plus compatibles avec les matériaux inorganiques que les feuillus. Cet effet est associé en partie à la quantité élevée d'hémicelluloses chez les feuillus (environ 34% chez les feuillus et 28% chez les conifères), mais principalement à la quantité et à la nature chimique des extractibles du bois qui varient en fonction de l'espèce [34].

Le duramen est moins compatible que l'aubier avec les matériaux inorganiques à cause des types et des quantités plus grandes de produits extractibles dans le duramen [35] Mais l'aubier peut être moins compatible, car le lessivage des extractibles est plus difficile chez le duramen en environnement aqueux que chez l'aubier parce que le duramen est moins perméable que l'aubier. En plus, on peut trouver une grande quantité de glucides solubles à l'intérieur et à la surface des particules d'aubier, ce qui peut réduire la compatibilité avec le ciment.

L'incompatibilité entre le ciment et le bois peut être le résultat de plusieurs facteurs, incluant le type de ciment, la localisation géographique des espèces (type de sol, climat), la forme des particules de bois, le pH et autres [35].

Le vieux bois est plus compatible que le bois récemment scié, selon les auteurs de [36, 37] la farine de bois est moins compatible que la laine de bois, chose qui peut être attribuée au lessivage plus facile des extractibles sous la forme de farine que chez la laine de bois.

Les espèces incompatibles ont une quantité égale ou supérieure à 7% d'extractibles solubles dans l'eau et une valeur de rapport de la capacité tampon acide et capacité tampon

base (ABR), en dessous de 2.5 sont considérés comme espèces incompatibles avec le ciment. Le pH du bois a aussi un effet sur la compatibilité entre le bois et le ciment. Les espèces ayant un pH plus haut que 4.9 sont considérées comme incompatibles avec le ciment et compatibles si le pH est inférieur à 3-9. Les extractibles acides avec un pH faible inhibent beaucoup moins la cristallisation du ciment que les extractibles alcalins avec un pH élevé. Cependant, les bois acides pourraient diminuer le pH du mélange ciment/eau causant un résultat défavorable à la prise du ciment [37].

L'écorce a aussi été étudiée sur sa compatibilité avec le ciment [37], l'écorce de l'épinette noire est beaucoup moins compatible avec le ciment que le bois et elle s'est avérée inapte à la fabrication des panneaux bois-ciment.

Par ailleurs, les extractibles du bois solubles dans l'eau principalement les tannins hydrolysables, les acides salinés libres, les gras solubles et les composantes phénoliques peuvent retarder l'hydratation du gypse hemihydraté et altérer la structure et la taille des cristaux du gypse en réduisant la liaison entre le gypse et le bois.

L'incorporation de la matière végétale dans le ciment n'est pas forcément triviale, des problèmes de compatibilité chimique pouvant se poser [37].

### **III.2. Compatibilité du bois avec le ciment**

Pour éviter l'incompatibilité des bois avec le ciment, plusieurs méthodes ont été utilisées: l'extraction avec de l'eau, le stockage prolongé, le séchage des particules au séchoir et l'utilisation de produits chimiques.

Plusieurs recherches [34] ont montré que l'élimination des extractibles du bois entraîne une compatibilité avec le ciment. Ainsi, les espèces incompatibles peuvent devenir des espèces compatibles si elles suivent des traitements comme l'extraction à l'eau chaude ou l'extraction avec des solutions diluées dans l'hydroxyde de sodium.

La procédure de l'extraction des composantes solubles du bois avec de l'eau chaude est utilisée pour réduire le temps nécessaire pour arriver à la température maximale d'hydratation et améliorer ainsi la compatibilité. Cependant, quelques espèces ont présenté des températures inférieures à 50 °C après l'extraction. Il est important de dire que les mélanges ciment-bois avec des particules traitées, les températures sont homogènes dans ces mélanges [34].

Dans le but d'augmenter la compatibilité du bois, en utilisant trois traitements et en montrant que le traitement d'extraction à l'eau chaude (80°C) a été meilleur que le traitement

d'extraction à l'eau froide (20°C). L'extraction avec NaOH (10g/l) a été le traitement donnant de meilleurs résultats. Cependant, quelques espèces restent incompatibles avec le ciment même si on fait une extraction des extractibles [34].

Les additifs et les accélérateurs sont souvent utilisés dans la fabrication de panneaux composites bois/ciment pour réduire le temps de prise du ciment et améliorer la compatibilité des composantes. Les chlorures sont les accélérateurs les plus efficaces et peuvent compenser l'effet négatif du bois sur l'hydratation du ciment, principalement le Chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ). Le degré d'hydratation augmente quand la quantité d'accélérateur augmente.

Les additifs comme le sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) et le silicate de sodium ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sont aussi utilisés pour la fabrication des panneaux composites de ciment Portland et bois. Cependant, l'effet des additifs chimiques n'est pas du tout clair jusqu'à maintenant [34].

L'enthalpie de l'hydratation du mélange bois-ciment augmente de 22% avec l'addition du chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ). L'incorporation du charbon actif utilisé comme unique additif n'augmente pas l'enthalpie. Cependant, la combinaison de ces deux composantes à une proportion de 4% de  $\text{CaCl}_2$  et 4% de charbon actif, l'enthalpie de l'hydratation augmente jusqu'à 52% et accélère l'initiation de la prise du ciment [34].

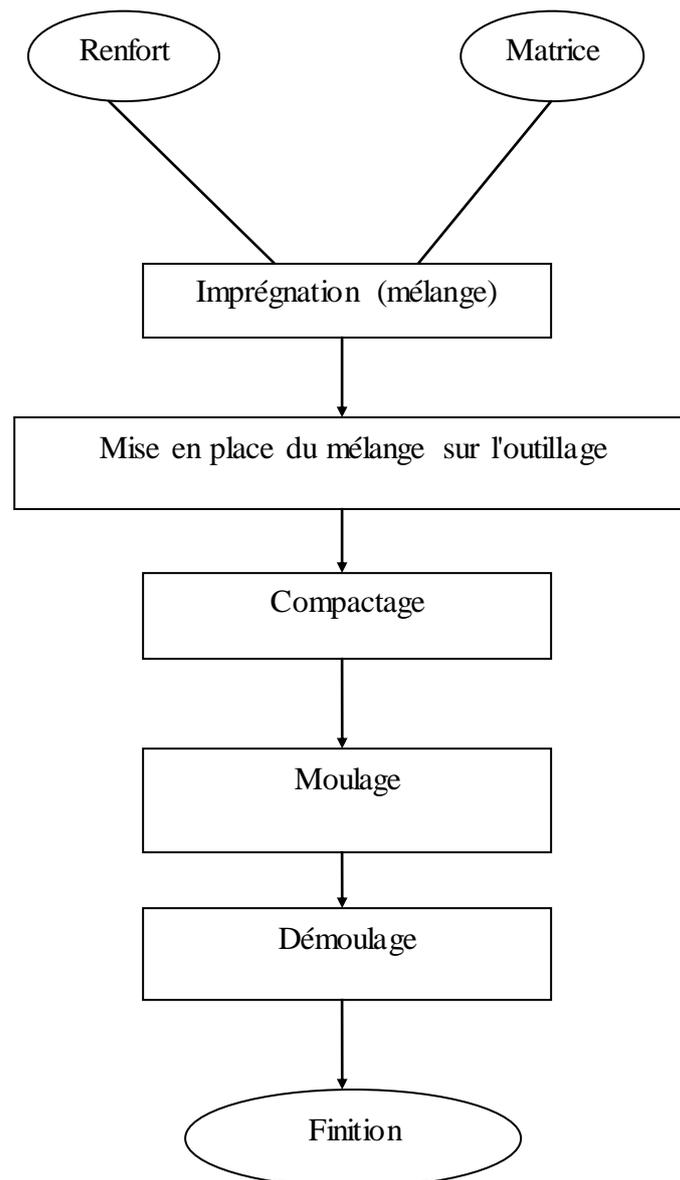
Après avoir fait un traitement avec de l'eau chaude et du NaOH pour déplacer les produits extractibles et les sucres des bois de pin et de mélèze ont amélioré la compatibilité entre les espèces et le ciment. Cependant, selon les mêmes auteurs le chlorure de calcium  $\text{CaCl}_2$  donne de meilleurs résultats que le NaOH, le  $\text{MgCl}_2$  et le  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  comme additif dans l'hydratation du ciment [34].

### **III.3. Mise en œuvre des matériaux composites**

Le mélange (renfort/matrice) ne devient un véritable matériau composite résistant qu'au terme de dernière phase de fabrication.

Il existe différentes techniques de mise en œuvre mais la plus utilisée est par moulage, les procédés de formage par moulage varient en fonction de la nature des pièces, de l'importance des séries et du prix de revient.

Nous retiendrons le formage par moulage des composites à renfort fibreux et à matrice résineuse. Les principales étapes de fabrication sont illustrées dans la figure I.14.



**Figure I.14:** Etapes de mise en forme des composites par moulage [38].

#### III.4. Caractéristiques des pièces composites et leurs application

Les matériaux composites ne se plastifient et ne se corrodent pas et ont une tenue aux impacts et aux chocs très moyenne. Par contre les matériaux composites vieillissent sous l'action de l'humidité et de la chaleur, ils sont insensibles aux produits chimiques, graisses, huiles, liquides hydrauliques, peinture, solvants, pétrole ...etc.

Les matériaux composites connaissent actuellement un développement intense dans tous les domaines de l'industrie. Ils sont donc des matériaux idéaux dans spécialement l'aéronautique et l'aérospatiale. L'expérience établit que l'emploi des composites permet à

performances égales, des gains de masse varient de 10 % à 50% sur le même composant en alliage métallique conventionnel.

Les matériaux composites ont été introduits progressivement dans l'industrie de l'automobile et des transports terrestres, l'intégration de tels matériaux a pu réduire la consommation de carburant causé par l'économie de poids obtenue.

De par leur bonne tenue à la fatigue statique et dynamique et leur légèreté, les composites sont des matériaux idéaux pour la fabrication de très nombreux articles de sport et de loisirs. De plus, les matériaux composites sont notamment utilisés dans les domaines de l'électricité, l'électronique (chemins de câbles), le bâtiment et travaux publics, transport maritime et dans la mécanique générale [38].

Les panneaux composites ciment/bois sont utilisés dans l'industrie de la construction principalement pour les maisons préfabriquées à cause de leurs bonnes propriétés d'isolation acoustique, de leur faible conductivité thermique, de leur résistance au feu, de la résistance à l'humidité, de la résistance à la pourriture et aux insectes [39-41].

Les matériaux composites connaissent actuellement un développement intense dans tous les domaines de l'industrie. Ils sont donc des matériaux idéaux dans spécialement l'aéronautique et l'aérospatiale.

L'expérience prouve que l'emploi des composites permet à performances égales, des gains de masse varient de 10 % à 50% sur le même composant en alliage métallique conventionnel.

Les matériaux composites ont été introduits progressivement dans l'industrie de l'automobile et des transports terrestres, l'intégration de tels matériaux a pu réduire la consommation de carburant causé par l'économie de poids obtenue. De par leur bonne tenue à la fatigue statique et dynamique et leur légèreté, les composites sont des matériaux idéaux pour la fabrication de très nombreux articles de sport et de loisirs. De plus, les matériaux composites sont notamment utilisés dans les domaines de l'électricité, l'électronique (chemins de câbles), le bâtiment et travaux publics, transport maritime et dans la mécanique générale [40].

Les panneaux composites ciment/bois sont utilisés dans l'industrie de la construction principalement pour les maisons préfabriquées à cause de leurs bonnes propriétés d'isolation acoustique, de leur faible conductivité thermique, de leur résistance au feu, de la résistance à l'humidité, de la résistance à la pourriture et aux insectes [39-41].

### **III.5. Durabilité des composite d'un matrice cimentaire à base des Fibres**

Dans les matériaux composites a matrice cimentaire, le renfort fibreux doit non seulement améliorer la résistance après fissuration, mais aussi présenter de bonne durabilité dans diverses ambiances.

Les fibres végétales (sisal, noix de coco) résistaient mal aux alcalis. La faible tenue, de ces fibres dans les milieux alcalins, en particulier dans la chaux libérée par les ciments lors de l'opération d'hydratation, constitue une contrainte qui limite le champ d'utilisation de ces fibres dans le ciment.

Ce phénomène se manifeste au niveau de la fibre soit par détérioration soit par diminution de sa résistance à la traction[42, 43] .

### **III.6. Durabilité des Bétons de Fibres de Palmier dattier**

La durabilité des bétons de fibres de palmier dattier est donnée, dans cette partie, en fonction de l'évolution à long terme de leurs propriétés mécaniques et notamment celles après la première fissuration.

Par ailleurs, la chute de durabilité des bétons de fibres conservés dans l'eau est due à la chute de durabilité des fibres de palmier dans le milieu cimentaire alcalin [44].

#### **III.6.1. Amélioration de la durabilité**

La protection de fibres a été envisagée par plusieurs procédés, on peut citer :

- Soit par traitement de la fibre.
- Soit la modification de la matrice.
- Soit la combinaison de deux procédés.

#### **III.6.2. Traitement de la fibre**

Les principales méthodes utilisées dans le traitement de l'état de surface des fibres sont :

- Les imprégner d'agents chimiques comme le silicate de sodium, le sulfate de magnésium et d'autre pour constituer une protection contre l'attaque chimique des alcalins.
- Imperméabiliser la fibre avec des produits comme la résine ou la bitume protégeant ainsi la surface de ces dernières contre l'attaque des alcalis libérés par les ciments lors de l'hydratation.

- La combinaison des deux méthodes. Cette méthode a donné les résultats les plus satisfaisants.

En conclusion ces procédés offrent une bonne protection aux fibres mais elles augmentent le coût de leur exploitation[45] .

### **III.6.3. Traitement de la matrice**

La modification de la matrice a été tentée par les méthodes suivantes :

- Obturation des pores de la matrice avec différents produits.
- Réduction de son alcalinité par différents procédés.

#### **a. Obturation des pores de la matrice**

La limitation des pores peut se faire par l'augmentation de la proportion des fines ou la quantité de ciment, ou par diminution du rapport E/C pour limiter ainsi le transport de l'eau et donc l'alcalinité.

#### **b. Réduction de l'alcalinité**

Les méthodes les plus utilisées pour la réduction de l'alcalinité de la matrice sont :

- ❖ La carbonatation à jeune âge de la matrice par le gaz carbonique. L'objectif de cette technique est de réduire le taux de la chaux libérée lors des premiers jours d'hydratation [46].
- ❖ L'utilisation d'un ciment ayant une faible teneur en alcalis spécialement la chaux libérée lors de la réaction d'hydratation. Ainsi plusieurs chercheurs préconisent le remplacement d'une partie de ciment par l'ajout de laitier, de cendres volantes ou bien des produits pouzzolaniques. Seuls les produits à base de pouzzolane naturelle, tel que le métakaolin, ont contribué à l'amélioration de la durabilité [45,46].

#### **IV. Conclusion**

Après cette étude bibliographique, on peut conclure par les conclusions suivantes ;

- Le bois de palmier dattier est une ressource naturelle renouvelable produit par l'arbre au cours de sa croissance.
- Le bois de palmier dattier appartient une caractéristique hygroscopique importante. Parce qu'il est des caractéristiques très importantes du bois puisqu'elle rend le matériau sensible aux conditions climatiques environnantes (humidité et température).
- L'utilisation de bois de palmier dattier est dans plusieurs domaines en particulier dans la construction est de plus en plus pratiquée. Vu les problèmes de santé que présente les fibres d'amiante, leur substitution par des fibres végétales ou polymères est un enjeu médico-économique important. De ce fait, de récentes recherches sont en cours dans le but d'améliorer les propriétés des matériaux renforcés par des fibres végétales, de verre ou de polymère.
- Les fibres végétales (sisal, noix de coco) résistaient mal aux alcalis. La faible tenue, de ces fibres dans les milieux alcalins, en particulier dans la chaux libérée par les ciments lors de l'opération d'hydratation, constitue une contrainte qui limite le champ d'utilisation de ces fibres dans le ciment.
- Quoique l'Algérie soit parmi les pays qui possèdent une multitude des fibres végétales (fibre de palmier, Alfa Abaca, chanvre de coton ...).

## V. Référence

- [1] J. Natterer, M. Sandoz, J.L. Rey, "Construction en bois matériau, technologie et dimensionnement," vol. 13. *Presses polytechniques et Universitaires Romandes*, 2000.
- [2] Bruno Clair, "Étude des propriétés mécaniques et du retrait au séchage du bois à l'échelle de la paroi cellulaire," *Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, France* 2001.
- [3] H. Yamamoto, F. Sassus, M. Ninimya, J. Gril, "A model of anisotropic swelling and shrinkage process of wood, Part 2. A simulation of shrinkage wood" *Wood Science and Technology*," vol. 35, pp. 167-181, 2001.
- [4] J. Gril, B. Thibaut, E. Berrada, G. Martin, "recouvrance hygrothermique du bois vert. Influence de la température," vol. 50, pp. 57-70, 1993.
- [5] M. Olivier Pignolet, "Optimisation de la durabilité de bois d'œuvre (classe d'emploi 4) à l'aide d'anhydrides alkényle succiniques d'origine végétale," *université de Toulouse*, 2008.
- [6] D. Sedan, "Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite," *Université de Limoges*, 2007, pp. 137.
- [7] M.C.N. Yemele, "Développement de panneaux de particules à base d'écorce d'épinette noire et de peuplier faux- tremble," *Université de laval*, 2008, pp. 174.
- [8] E. Bousaid, "Contribution à la modélisation des effets différents du bois et du béton sous conditions climatiques variables application aux structures mixtes bois-béton," *Université de Lyon*, 2003.
- [9] A. Govin, "Aspects physico-chimiques d'interaction bois - ciment et Modification de l'hydratation du ciment par le bois," *Université Jean Monnet De Saint Etienne*, 2004.
- [10] S. Merakeb, "modélisation des structures en bois en environnement variable," *Université De Limoges*, 2006.
- [11] A. Achoura, M. Belhamra, "aperçu sur la faune arthropodologique des palmeraies d'El-Kantara," 2010, pp. 93-101.
- [12] A. Bessas, L. Benmoussa, K. Mohamed, "Dosage biochimique des composés phénoliques dans les dattes et le miel récoltés dans le sud algérien," *Université, Sidi Bel Abbès*, 2008.

- [13] P. Munier, "Le palmier dattier," *Maisonneuve et Larose de Paris*, 1973, pp. 221.
- [14] P. Flourens, "Recueil des loges historiques lus dans les séances publiques de l'Académie des Sciences," .
- [15] H. L, "nouveaux éléments de botanique à l'usage des élèves qui suivent les cours du jardin des plantes," *Bibliothèque de catalogue Ecole de Médecine de Paris*, 1809.
- [16] M. Keramat Jahromi, A. Jafari, S.S. Mohtasebi, S. Rafiee, "Engineering Properties of Date Palm Trunk Applicable in Designing a Climber Machine," *CIGRE*, vol. x, 2008.
- [17] G. Peyron, "Cultiver le palmier-dattier," 2000, pp. 122.
- [18] P. Munier, "Le palmier-dattier," *Maisonneuve & Larose*, 1973, pp. 221.
- [19] K. Abdelouahed, "Caractérisation des Fibres de Palmier Dattier Et Propriétés des Bétons et Mortiers Renforcés par ces Fibres en Climat Chaud et Sec," *ENP Alger*, 2005, pp. 154.
- [20] A.C.A.H. Longo, "Valorisation des Sous-Produits du Palmier Dattier en Vue de leur Utilisation en Alimentation du Bétail," pp. 59-64, 2001.
- [21] B. Agoudjil, A. Boudenne, L. Ibos, M. Fois, "Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 471-497, 2011.
- [22] H.F.L.A. Chehma, A. Siboukeur, "Estimation du tonnage et valeurs alimentaire des sous produits du palmier dattier chez les ovins," *Recherche Agronomique*, vol. 7, pp. 7-15, 2000.
- [23] G.D.A. Kriker , A. Bali , M.M. Khenfer , M. Chabannet, "Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate," vol. 27, pp. 554-564, 2005.
- [24] C.Y.A. Maxime, "Etude de la microstructure des composites bois/ciment par relaxométrie RMN du proton," *Université BORDEAUX 1*, 2009.
- [25] H. F.W. Taylor, "Cement chemistry," *Thomas Telford*, 1997.
- [26] A. Nonat, "The structure and stoichiometry of C-S-H," *Cement and Concrete Research*, vol. 34, pp. 1521-1528, 2004.
- [27] D. Damidot, "Etude de l'hydratation du silicate tricalcique en suspensions diluées par microcalorimétrie isotherme," *Université de Bourgogne*, 1999.
- [28] P. Stutzman, "Scanning electron microscopy imaging of hydraulic cement microstructure," *Cement & Concrete Composites*, pp. 957-966, 2004.

- [29] E. Aamr-Daya, Langlet, T. Benazzouk, A.M. Quéneudec, "Feasibility study of Light weight cement composite containing flax by-product particles: Physico-mechanical properties," *Cement & Concrete Composites*, vol. 30, pp. 1957-1963, 2008.
- [30] R.D. Tolêdo Filho, Scrivener, K. England, G.L. Ghavami, "Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability," *Cement & Concrete Composites*, vol. 25, pp. 185-196, 2003.
- [31] R.S.P. Coutts, "A review of Australian research into natural fiber cements composites," *Cement & Concrete Composites*, vol. 27, pp. 518-526, 2005.
- [32] A.D.M. Hofstrand, A.A. Garcia, J.F, "Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky mountain species mixes with Portland cement," *Forest Prod*, vol. 34, pp. 57-61, 1984.
- [33] M. Hachmi, A.A. Moslemi, A.G. Campbell, "A new technique to classify the compatibility of wood with cement," *wood science technology*, vol. 24, pp. 345-354, 1990.
- [34] D.W. Fengel, G, "Wood chemistry, ultrastructure, reactions," *Walter of Gruyter, New York* 1983.
- [35] D.P.M. Miller, A.A, "Wood-cement composites: Species and heartwood sapwood effects on hydration and tensile strength," *Forest Prod*, vol. 41, pp. 9-14, 1991.
- [36] M. H. Simatupang, H. Lange, H. Kasim, N. Seddig, "Influence of wood species on the setting of cement and gypsum," *presented at fiber and Particleboard Bonded with Inorganic Binder, Idaho, USA.*, 1988.
- [37] K.E.C. Semple, R.B. Evans, P.D, "Cement hydration tests using woodflour may not predict the suitability of Acacia mangium and Eucalyptus pellita for the manufacture of wood-wool cement board," *Holzforchung*, vol. 32, pp. 327-332, 1999.
- [38] A.R. Sanadi, D.F. Caufield, R.M. Rowell, "Kenaf fibers-Potentialy outstanding reinforcing fillers in thermoplastics," *presented at Proceedings, 6<sup>th</sup> Annual International Kenaf Conference, New Orleans, Etats Unis*, 1994.
- [39] R.H. Falk, "Rapid growth of cement-cellulose fiber board," *presented at Proceedings, 12th annual Excellence in housing conference and exposition, Dallas, 1994, February* 23-26.

- [40] F.T. Kurpiel, "Rapid growth of cement-cellulose fiber board," *presented at Proceeding of the 6th international inorganic bonded wood and fiber composite materials conference, Idaho, USA, 1998.*
- [41] G. Tsoumis, "Science and technology of wood. Structure, properties, utilization. Van Nostrand Reinhold," *presented at New York, U.S.A.*
- [42] L. Nilson, "Reinforced Concrete with Sisal and other vegetable fiber," 1975.
- [43] T.S.R. Mirihagalla, P.K, "Elephant grass fibers and reinforcing fiber," *Concrete Research*, vol. 28, pp. 162-172, 1976.
- [44] K. A, "Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétésdes bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec." *ENP, Alger, 2005.*
- [45] F. Mokhtari, "Contribution à l'étude des composites à base de liants pouzzolaniques et de bambou." *INSA Lyon, 1991.*
- [46] F.R.D. Tolëdo, K. Scrivener, G.L. England, K. Ghavami, "Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibers in cement mortar composites," *ELSEVIER, Cement and concrete composite*, vol. 22, pp. 127-147, 2000.

# **Chapitre II**

## **Etude basé sur la littérature**

Dans ce chapitre nous exposons la dégradation des matériaux biocomposites. La première partie est consacrée aux dégradations chimique et mécanique des fibres végétales. Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous discutons les dégradations de multi sens des composites. Enfin, nous exposons une synthèse bibliographique sur les travaux réalisés dans la littérature.

## I. Dégradation chimique

Les réactions chimiques possibles avec la fibre de cellulose sont les mêmes que celles que l'on peut obtenir avec les alcools. On retrouve principalement les réactions d'oxydation, d'estérification, d'éthérification et des réactions de copolymérisation et/ou greffage de chaînes de polymères linéaires ou de molécules organiques simples. Dans tous les cas de figure, on fait appel aux hydroxyles et notamment ceux en position C<sup>6</sup>. Malheureusement, le caractère cristallin prononcé des fibres de cellulose est un facteur limitant l'accessibilité des hydroxyles par les réactifs [1].

### I.1. Oxydation

Les oxycelluloses sont les produits de l'oxydation de la cellulose. Cette oxydation réduit sa taille (DP). C'est l'un des problèmes rencontrés lors du blanchiment du coton et des fibres lignocellulosiques. En milieu acide ou neutre, l'oxydation de la cellulose donne des celluloses oxydées de type réducteur. En milieu alcalin, un nombre important de groupes d'acide se forme. La réaction se fait par une attaque des hydroxyles en position C<sup>2</sup>, C<sup>3</sup> et C<sup>6</sup> et il s'ensuit une formation de groupes carbonyles. L'aldéhyde en C<sup>6</sup> peut être oxydé une seconde fois pour former un groupe carboxylique. Ce processus peut se poursuivre sur les aldéhydes en C<sup>2</sup> et /ou en C<sup>3</sup> pour aboutir à la formation de cétone. Ceci conduit, si le processus se poursuit à une dépolymérisation de la cellulose et donc à une réduction des masses molaires. Par exemple la cellulose microcristalline est obtenue par oxydation acide suivie d'une dégradation alcaline [2].

### I.2. Griffage chimique

Il y a trois méthodes permettent de préparer la fibre de cellulose par modification en vue de leur utilisation dans les matériaux composites :

- Modification de la tension de surface c'est-à-dire hydrophilisation de la surface de la

fibres. Par exemple, l'utilisation de l'acide stéarique sur la fibre rend celle-ci hydrophobe et facilite également sa dispersion dans les polyoléfines. Le même effet est observé dans les composites jute – résine polyester instauré. Des traitements avec le polyvinyle acétate ou les silanes (époxy et uréthane) ont apportés des résultats satisfaisants.

➤ Imprégnation des fibres pour avoir une meilleure compatibilité avec le polymère résine. L'exemple le plus parlant est l'imprégnation de la cellulose avec du PVC plastifié, une bonne dispersion a été observée dans le polystyrène.

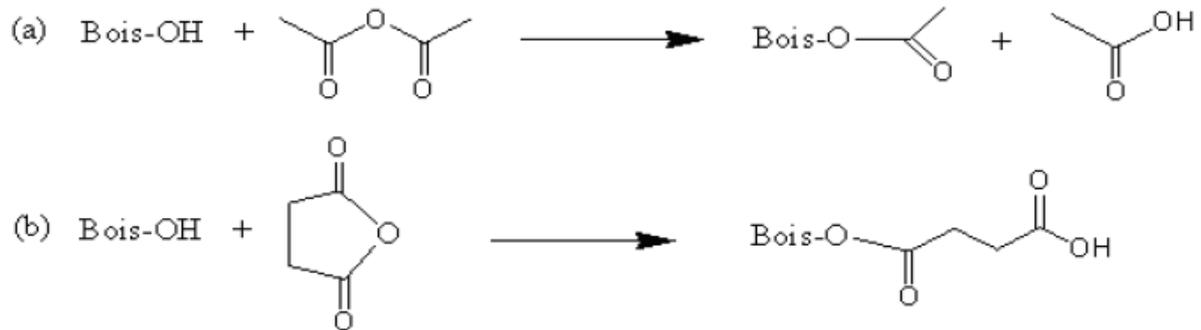
➤ Couplage chimique pour augmenter l'adhésion interfacial. La surface de la fibre est traitée par un composé qui fera la connexion entre les constituants du matériau. Cette dernière est très développée dans la préparation des fibres pour les matériaux composites notamment le greffage par copolymérisation. Le greffage par copolymérisation consiste en une réaction chimique en deux étapes. Une initiation au niveau de la surface de la fibre par le biais d'un radical libre crée par un traitement aqueux le plus souvent car des procédés électrochimiques peuvent être utilisés pour cette étape. La seconde étape est le greffage de l'agent de couplage.

On a donc une compatibilité de la surface suivie d'un greffage d'une molécule qui :

- si c'est un monomère, pourra polymériser dans une solution de monomère ;
- si c'est une molécule bifonctionnelle, pourra réagir avec un polymère ou une matrice ;
- si c'est un copolymère, permet d'obtenir directement le composite.

Une autre méthode de greffage par copolymérisation peut se faire sur la fibre de cellulose. Celle-ci ne nécessite pas de création de radicaux libres mais demande par exemple d'avoir des milieux réactionnels complètement anhydres (à l'exception des silanes) et d'autres contraintes de procédures de manipulations. Les modifications chimiques sont moins effectives mais assurent de la conservation de l'intégrité de la fibre et par conséquent de toutes ses propriétés [4].

Les modifications chimiques ont été effectuées à l'aide de changement des groupements d'hydroxyles, des frottements des hydrophiles et des éléments de gonflement qui seront remplacés par des groupements hydrophobes. Cela implique les transferts d'eau à l'intérieur des composites bois/ciment à l'aide des acides succiniques et des acides acétiques. Ces modifications sont effectués selon les réactions suivantes ; acétylation (a) du bois à partir de l'anhydride acétique et succinylation (b) à partir de l'anhydride succinique.



L'acétylation va nous permettre de diminuer l'hydrophilie naturelle des fibres (greffage de groupes relativement hydrophobes) alors que la succinylation l'augmentera (greffage de fonctions acides carboxyliques ou carboxylates très hydrophiles) [5].

## II. Dégradation mécanique

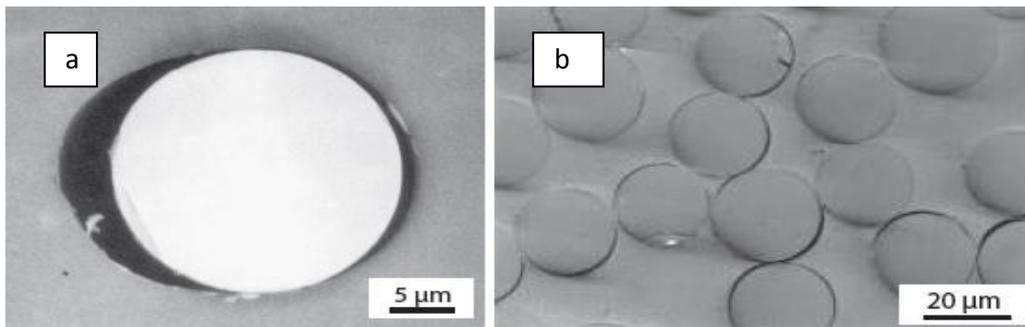
Les dégradations dont il est question ici correspondent à des ruptures, à une échelle plus ou moins grande. Pour de faibles sollicitations, les premières d'entre elles apparaissent à l'échelle des fibres, et lorsque le chargement s'intensifie, des fissures à l'échelle des plis unidirectionnels vont se former [1].

### II.1. Dégradation à l'échelle de la fibre

La première phase dans la phénoménologie des dégradations correspond à des décohésions entre les fibres et la matrice (figure II.1).

Mises en évidence dans différents travaux [6-10], elles sont réparties de manière plus ou moins homogène dans les plis unidirectionnels. Leur présence résulte des concentrations de contrainte apparaissant dans la matrice, autour des fibres, menant à une perte d'adhérence entre fibre et matrice. Leur nombre augmente avec l'intensité du chargement, et provoque une baisse de la rigidité de la zone concernée.

La décohésion entre les fibres et matrice s'observe particulièrement bien sur les plis sollicités en cisaillement, pour lesquels ces dégradations peuvent devenir très critiques.



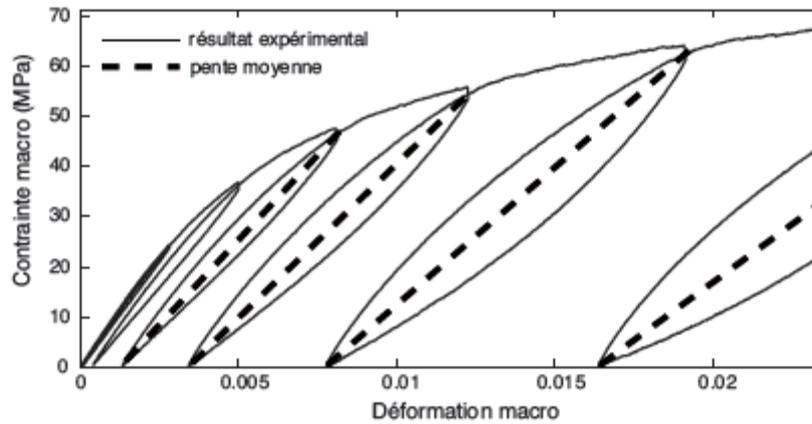
**Figure II.1:** La décohésion fibre matrice d'un polymère renforcé par fibre de coton ;a) Jonction entre les différentes zones de décohésion fibre/matrice [10], b) Radiographie d'un stratifié carbone époxy (0/90)<sub>4</sub> après traction. Les raies blanches indiquent la présence des fissures dans le pli à 90° [11].

Un deuxième type de dégradation se produit au niveau de l'interface entre plis unidirectionnels.

On appelle ce phénomène le délaminage diffus, car comme la décohésion fibre/matrice, ces ruptures se produisent à petite échelle et se répartissent sur les interfaces. Elles provoquent également une baisse de rigidité de l'interface, qui influe sur la rigidité globale des superposé des plis.

La figure II.2 montre la réponse d'un stratifié  $[\pm 45]_s$ , c'est-à-dire chaque stratifié contient des fibres sous un angle de 45°, qu'ils sont entreposés symétriquement.

La baisse de rigidité du composite observée lors des charge/décharge, caractérisée par une chute de la pente moyenne est due à la multiplication de ces décohésions fibre/matrice et délaminages diffus. C'est d'ailleurs ce type de constatation macro qui a mené à la recherche d'un mécanisme à petite échelle, préalable aux fissures à l'échelle du pli. Dans ce cas particulier, l'absence de plis à 0° permet un développement important des phénomènes diffus, il devient donc aisé d'observer les conséquences de ces phénomènes d'un point de vue macro. Ces dégradations diffuses, malgré le fait qu'elles contribuent largement à la modification des caractéristiques mécaniques du stratifié, ne suffisent pas à expliquer les chutes brutales et importantes de rigidité, ainsi que la rupture finale des stratifiés [11]. D'autres phénomènes plus sévères apparaissent à la suite de ces premières dégradations.



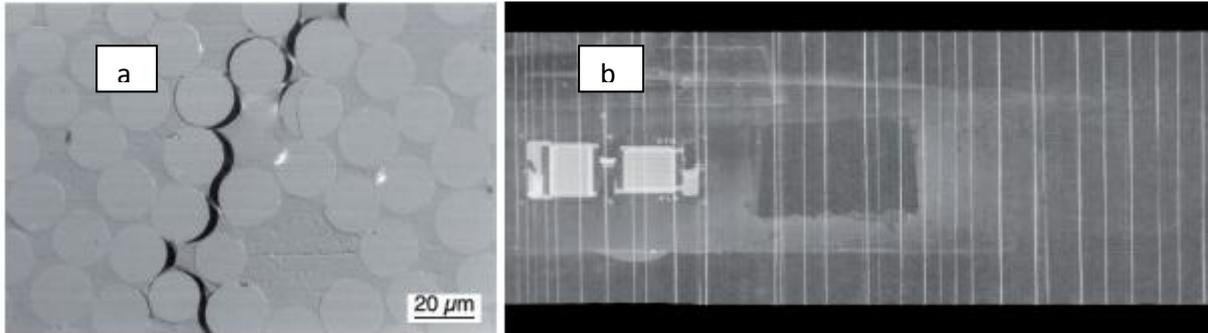
**Figure II.2:** Courbe contrainte-déformation d'un matériau thermo formables à base de fibres de cellulose [1].

## II.2. Dégradations à l'échelle du pli

### II.2.1. Microfissuration transverse et délaminage

Lorsque le chargement s'accroît, une localisation des dégradations va se produire. Le premier mécanisme qui intervient est la fissuration transverse. Cela correspond au niveau microscopique, à la rupture de la matrice située entre les fibres, causée par les concentrations de contrainte générées par les irrégularités géométriques. Ainsi, les décohésions fibre/matrice vont se rejoindre, pour former une fissure à l'échelle supérieure, comme il est montré dans figure II.3(a), c'est ce que l'on appelle la phase de percolation. Elles vont complètement traverser l'épaisseur du pli de manière instable et se propager sur une longueur plus ou moins grande dans la largeur du stratifié, parallèlement à la direction des fibres. Leur nombre va augmenter avec l'amplification de la sollicitation, jusqu'à un certain niveau dit de saturation. Cette saturation coïncide avec le développement du délaminage qui devient prioritaire d'un point de vue énergétique par rapport à la microfissuration.

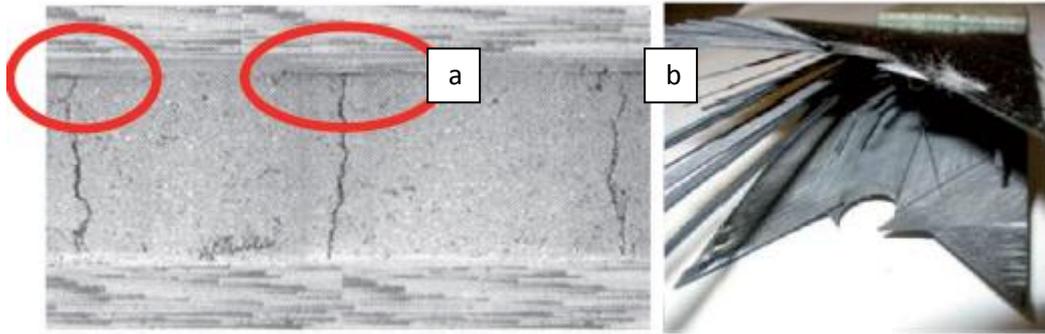
La figure II.3(b) montre le réseau de fissures transverses d'un pli à 90° après traction. Dans ce cas, toutes les fissures sont propagées de manière instable dans la largeur du pli.



**Figure II.3:** Matériaux polymère à bases des fibres de coton ; développement de la microfissuration transverse ; (a) Jonction entre les différentes zones de décohésion fibre/matrice [10], (b) Radiographie d'un stratifié (0/90<sub>4</sub>) après traction. Les raies blanches indiquent la présence des fissures dans le pli à 90° [11].

D'autre part, il est à noter que ces fissures vont s'établir suivant un schéma quasi-périodique pour des densités de fissures élevées. De même que pour les dégradations diffuses, ces fissures transverses vont provoquer une baisse de rigidité des zones concernées et donc du stratifié entier. Cependant, dans le cas du stratifié [0/90<sub>4</sub>], la rigidité du pli à 0° étant très supérieure à celle du pli à 90°, la chute de rigidité globale du composite sera très faible, à la différence d'un stratifié [ $\pm 45$ ]<sub>s</sub> en traction, qui lui subira une chute très importante de la rigidité globale à cause des fissures transverses. Cette chute intervient très tard, au moment de la percolation, c'est à dire de l'apparition et du développement catastrophique des fissures (intra et inter laminaires).

La figure II.4(a) montre comment une microfissure transverse va générer du délaminage. Au sommet de la fissure transverse, au niveau de l'interface entre deux plis unidirectionnels, des concentrations de contraintes vont se produire. Cette partie étant plus faible, cela va générer une fissure interlaminaire appelée délaminage local. Cette zone fissurée, dans le cas des stratifiés [0<sub>n</sub>/90<sub>m</sub>]<sub>s</sub>, va rester cantonnée aux abords de la microfissure qui l'a générée. En relâchant localement les contraintes, ce délaminage va participer à la saturation du taux de microfissuration observable dans ce cas. En revanche, dans d'autres cas, celui des [ $\pm 45$ ]<sub>s</sub> notamment, ce délaminage va se propager de manière catastrophique sur de très grandes surfaces. On parlera alors de macro-délaminage, qui est en partie responsable de la rupture générale du stratifié, voir figure II.4(b).



**Figure II.4:** Délaminage d'une matrice thermoplastique renforcés par fibres de verre ; (a) Délaminage induit par la microfissuration[12], (b) Plaque quasi-isotrope trouée en traction, rupture par macro-délaminage[13].

### II.2.2. Rupture sens fibre

Un autre mode de dégradation provoquant la rupture finale du stratifié est la rupture sens fibre. Ceci est particulièrement évident dans le cas des plis sollicités dans le sens des fibres, en traction ou en compression. Les observations expérimentales montrent des fortes différences de contrainte à rupture entre les cas de traction et de compression.

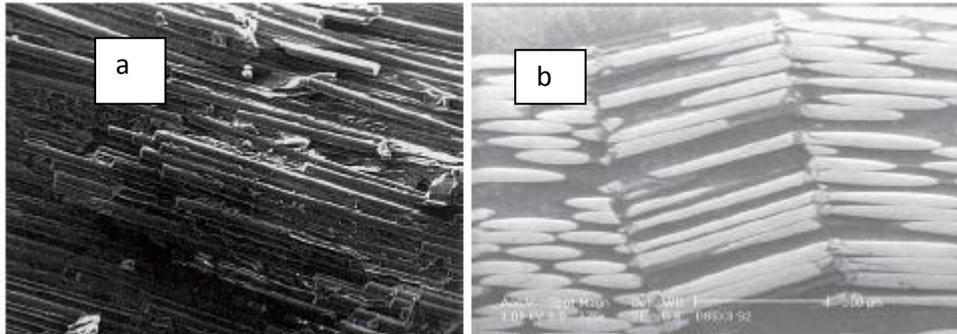
La contrainte à rupture en compression peut être deux ou trois fois plus petite qu'en traction. Dans le cas où les fibres sont chargées en traction, la matrice est très peu sollicitée, l'effort est repris presque intégralement par les fibres, et lorsque le chargement atteint le niveau de résistance de celles-ci, une rupture très nette peut être observée dans la figure II.5 (a). En revanche, dans le cas de la compression, le phénomène est bien plus complexe. En effet, de par leur géométrie, les fibres sont sensibles au flambage.

Tant que la matrice environnante reste saine, le confinement des fibres permet à ces dernières de supporter la sollicitation. Mais à partir d'un certain seuil, la matrice va commencer à se dégrader et permettre aux fibres de flamber.

Ceci va avoir pour conséquence de charger d'autant plus la matrice pour former finalement des Kinck-bands, figure II.5(b). Suivant les cas, la fibre peut rompre en flexion, ou bien rester intacte. Cependant, la destruction de la matrice environnante fera perdre à la zone concernée une grande partie de ses propriétés mécaniques[14]. De nombreux travaux ont montré l'influence forte de l'alignement imparfait des fibres.

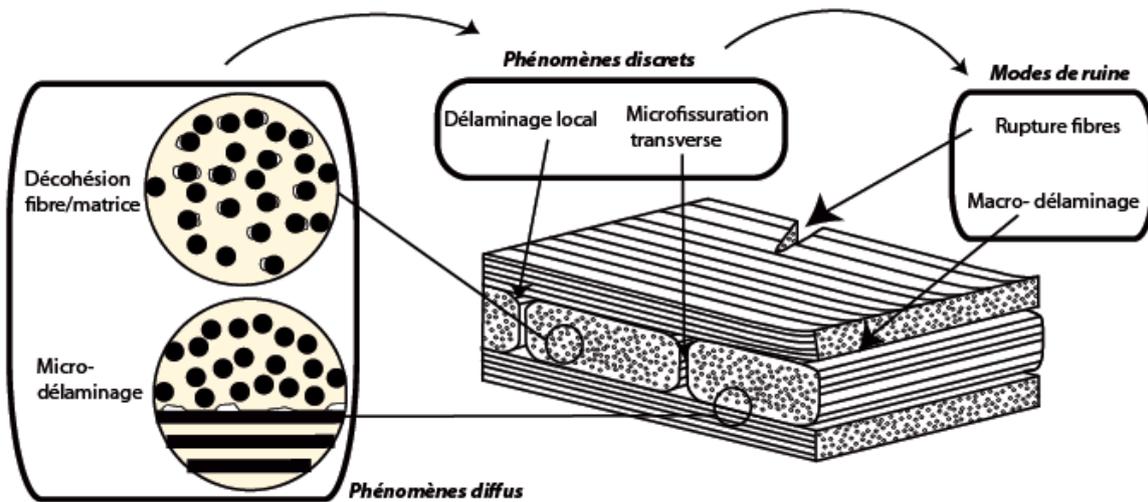
Cette imperfection provient du processus de fabrication du stratifié. D'autre part, la nature de la matrice, dont le comportement est plastique, joue un rôle prépondérant sur le déclenchement des Kinck-bands.

Il est également à noter qu'une sollicitation multiaxiale, couplant compression et cisaillement, va jouer sur l'alignement des fibres et donc avoir une très forte influence sur le développement des instabilités [15, 16].



**Figure II.5:** Développement de la microfissuration transverse d'un matériau à base fibre de verre et d'époxy ; (a) Rupture fibre en traction [17], (b) Rupture fibre en compression ; Kinck-band [15].

La figure II.6 récapitule de façon schématique l'ensemble des dégradations intervenant au sein des stratifiés.



**Figure II.6:** Phénomélogie des dégradations des matériaux composites [1].

Comme le montre la figure II.3, une importante déformation plastique peut apparaître au sein des stratifiés, et notamment en l'absence de pli à  $0^\circ$ . Au sein du stratifié, la matrice présente intrinsèquement un comportement fortement non-linéaire.

De nombreux travaux s'intéressent dans ce cadre à la phénoménologie des comportements à l'échelle micro [18]. Cependant, on attribuera les déformations permanentes à un effet structural. En effet, l'évolution de l'endommagement diffus provoque l'apparition

de surfaces de rupture (à l'échelle de la fibre). Le chargement induit un mouvement relatif entre les surfaces frottantes. L'adhérence provoque alors l'apparition de déformations permanentes à la décharge. Les fissures à l'échelle d'un pli pourront de la même manière mener à des déformations permanentes.

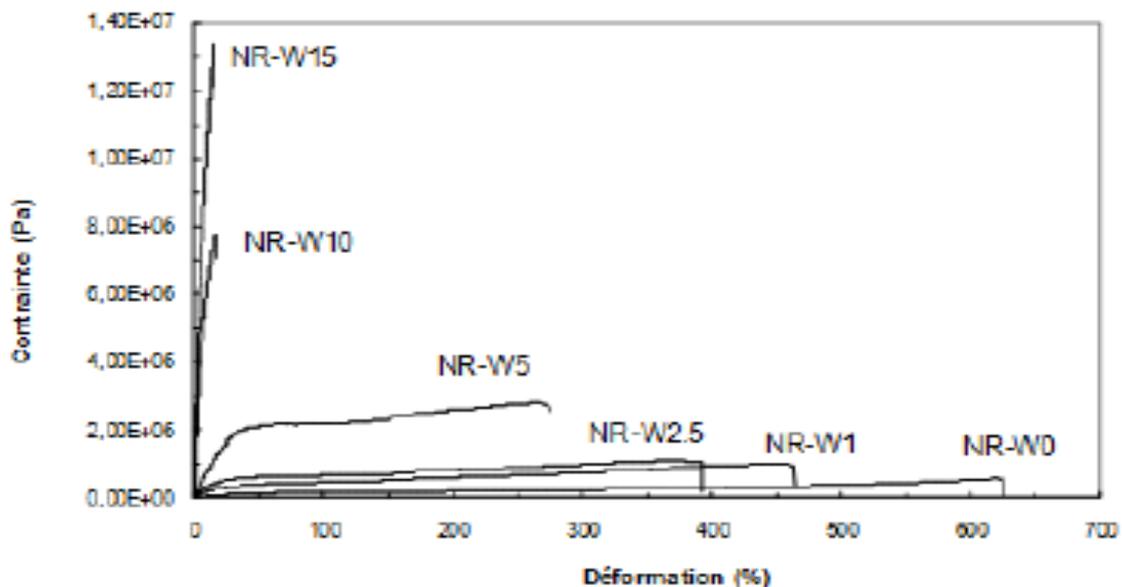
### III. Synthèse des travaux réalisés sur les matériaux bio-composites

Les matériaux forestiers représentent une source de produits renouvelables qui commencent à être utilisés ces dernières décennies dans le domaine de la construction. Parmi eux les fibres de bois ont déjà fait l'objet de nombreuses études permettant de caractériser ses différentes propriétés. Surtout, en combinaison sous forme composites soit avec des matériaux inorganiques ou organique qui sont adaptés aux applications de construction et de l'isolation.

La majorité de ces travaux ont porté sur les caractérisations mécaniques, thermophysiques et physiques des matériaux renforcés par les fibres végétales.

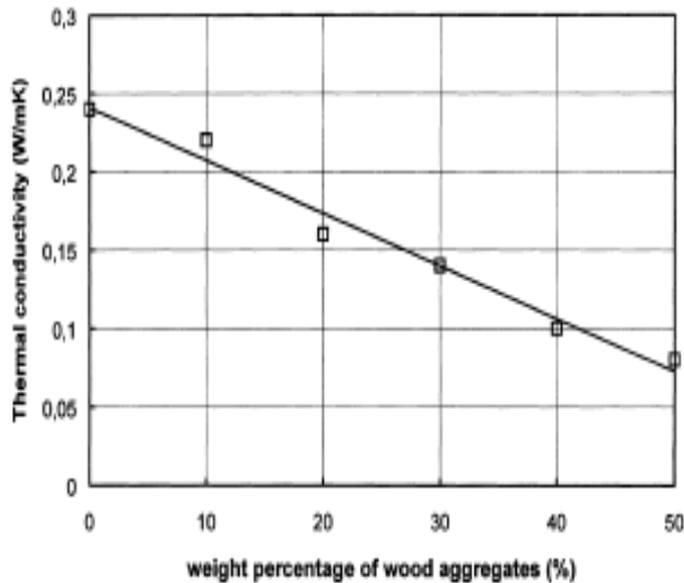
A. Bendahou et al [19] ont déterminé les propriétés mécaniques de l'ulve du palmier dattier et d'un latex de caoutchouc naturel (voir la figure II.7).

On observe que le matériau plastique à base de bois fragmenté a un module de Yong élevé quand la charge atteindre 15 %



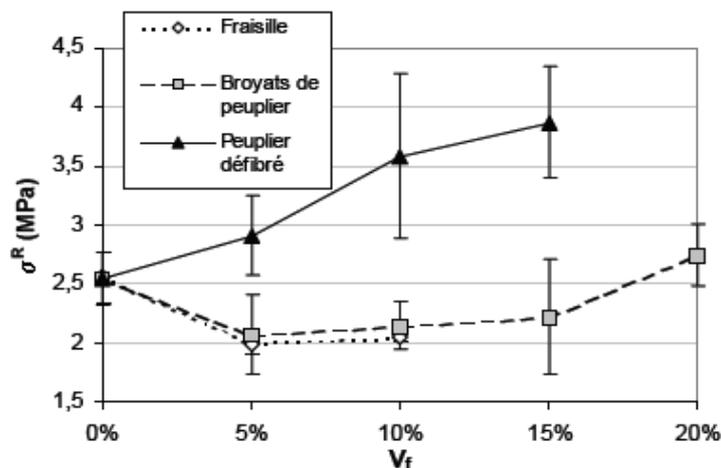
**Figure II.7 :** Courbes contrainte-déformation obtenues à partir des essais de traction à base de l'ulve du palmier dattier et d'un latex de caoutchouc naturel, NR ; non renforcé, W15 :15 % poids (T =25 °C) [19].

K. Al Rim et al[20] déterminent l'influence de la concentration de bois agrégat sur la conductivité thermique, d'après la figure II.8, la conductivité thermique diminue de 0.24 au 0.08 W/m.K avec l'augmentation de pourcentage de bois agrégats successivement du 10% au 50%.



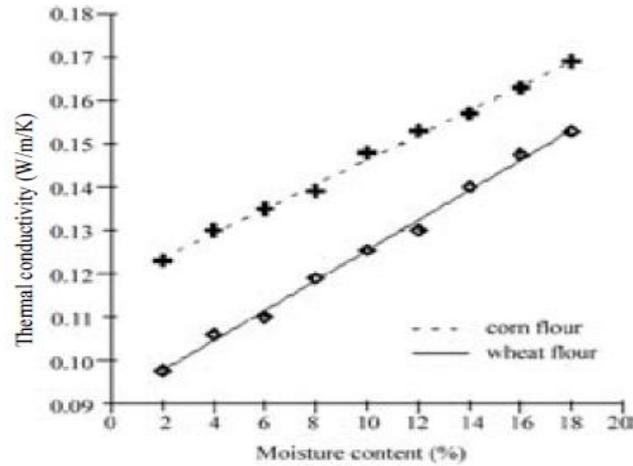
**Figure II.8 :** Influence de concentration de poids de bois agrégat sur la conductivité thermique [20].

P. Boustingorry [21] montre l'influence des trois charges (renfort) de différentes concentrations de la matrice inorganique (gypse) sur la résistance à la rupture. Il a constaté que la particule peuplier défibrée résiste mieux à la rupture que le fraisille et le broyats de peuplier en fonction de la fraction volumique de la charge (voir la figure II.9).

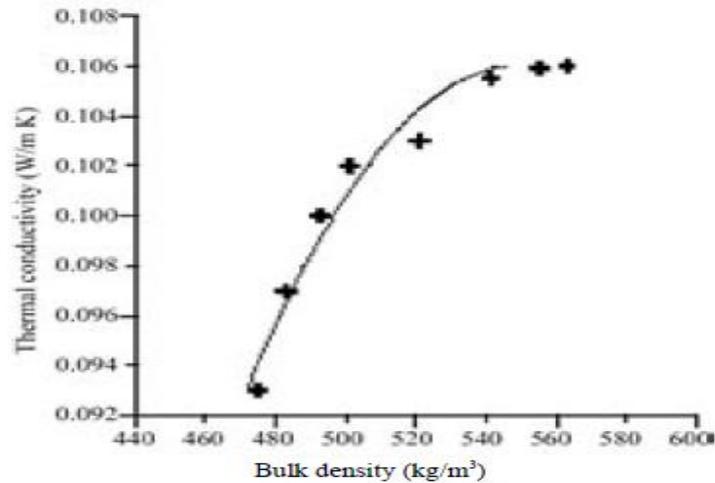


**Figure II.9 :** Influence de la morphologie des particules de peuplier sur la contrainte de rupture du composite de matrice gypse [21].

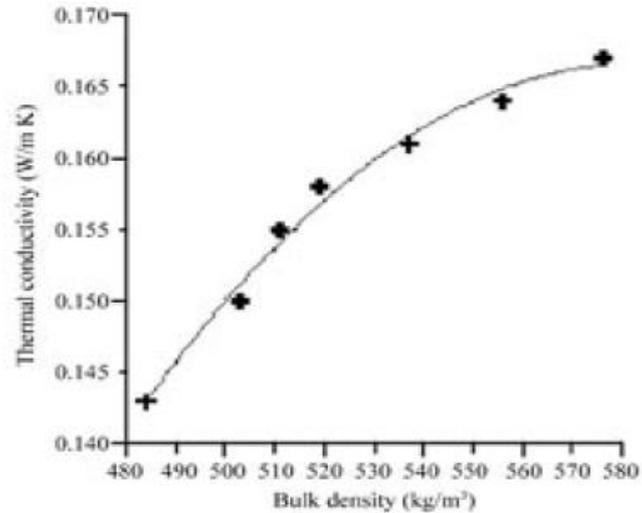
M. Božiková [22] a fait une comparaison entre la conductivité thermique en fonction de la masse volumique et le taux de l'humidité de deux matériaux naturels; la poudre de blé et les grains de blé, il a démontré que la conductivité thermique de la poudre de blé et les grains de blé augmente quand le taux de l'humidité et la masse volumique augmentent (voir la figure II.10-11-12).



**Figure II.10 :** La relation entre la conductivité thermique de la poudre de blé et des grains de blé en fonction de taux de l'humidité [22].



**Figure II.11 :** La conductivité thermique en fonction de la masse volumique des grains de blé [22].



**Figure II.12 :** La conductivité thermique en fonction de la masse volumique de poudre de blé [22].

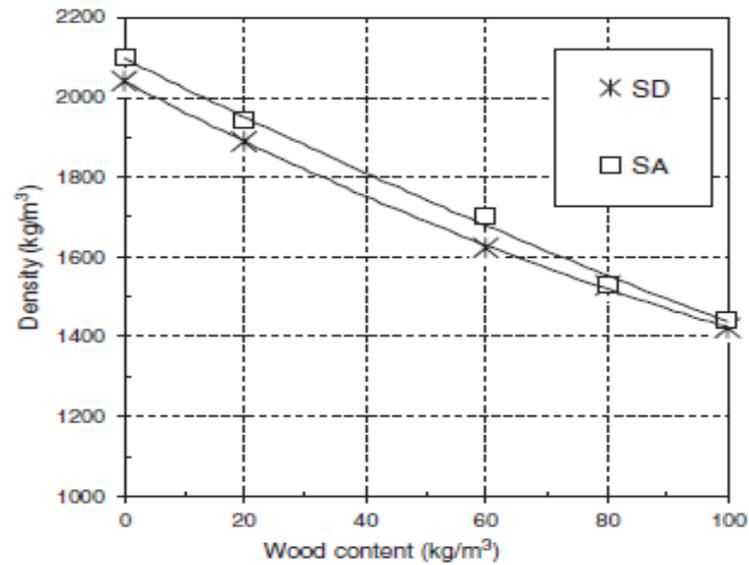
Arsène M-A et al[23] montrent que les fibres naturels ont une grande capacité d'absorption d'eau et ils ont une masse volumique élevée. Cela est dû à une résistance de traction élevée des fibres (voir le tableau II.1).

**Tableau II.1 :** Propriétés naturelles des fibres synthétiques [23].

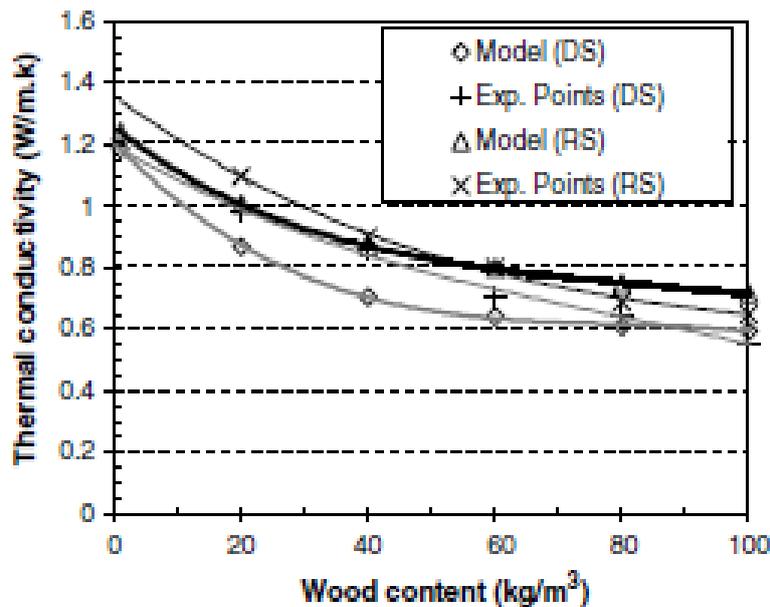
Propriétés	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	H(%)	R <sub>c</sub> (MPa)	E(MPa)
Sisal	1370	110	347-378	15.2
Cocornât	1177	93.8	95-118	2.8
Bambou	1158	145	73-505	10-40
Kemp	1500	85-105	900	34
Casaer	1409	182	300-500	10-40
Banane	1031	407	384	20-51
Piassava	1054	34-108	143	5.6
Palmier dattier	1300-1450	60-84	70-170	2.5-4

Les auteurs de [24] ont étudié l'influence d'ajout d'agrégat de bois sur la densité volumique et la conductivité thermique de sable concrète. Les résultats des essais montrent que ;

- Augmentation de concentration de bois due à la légèreté de composite de béton (voir figure II.13).
- Augmenter de contenu de bois, la conductivité thermique de béton diminue par contre la capacité d'isolation augmente (voir figure II.14).

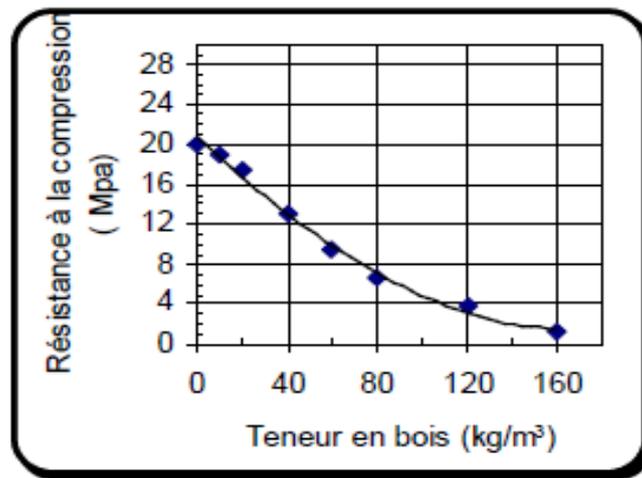


**Figure II.13.** Evolution de la densité de bois en fonction de contenu de bois [24].

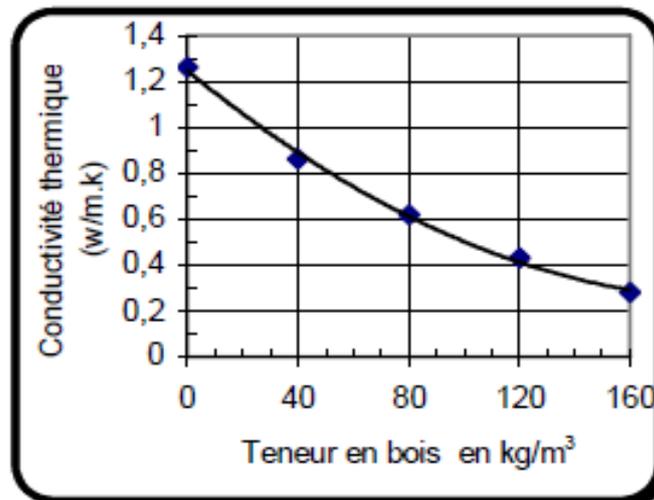


**Figure II.14.** Evolution de la conductivité thermique en fonction de la densité de bois [24].

M. Bedrina et al [25] montrent qu'il est possible d'obtenir des bétons de sable légers présentant d'excellentes propriétés thermiques et mécaniques. Selon la quantité de bois, il est possible d'obtenir des bétons de structure d'isolation. La structure du matériau est relativement homogène et l'adhérence entre le bois et le ciment voir les figures II.15-16.



**Figure II.15 :** Evolution de la conductivité thermique en fonction de la teneur en bois [25].



**Figure II.16 :** Evolution de la conductivité thermique en fonction de la teneur en bois [25].

Selon la littérature [26] l'incorporation des différentes concentrations de fibres de palmier dattier dans le plâtre augmente d'absorption de l'eau et le module d'élasticité, voir les figures II.17-18

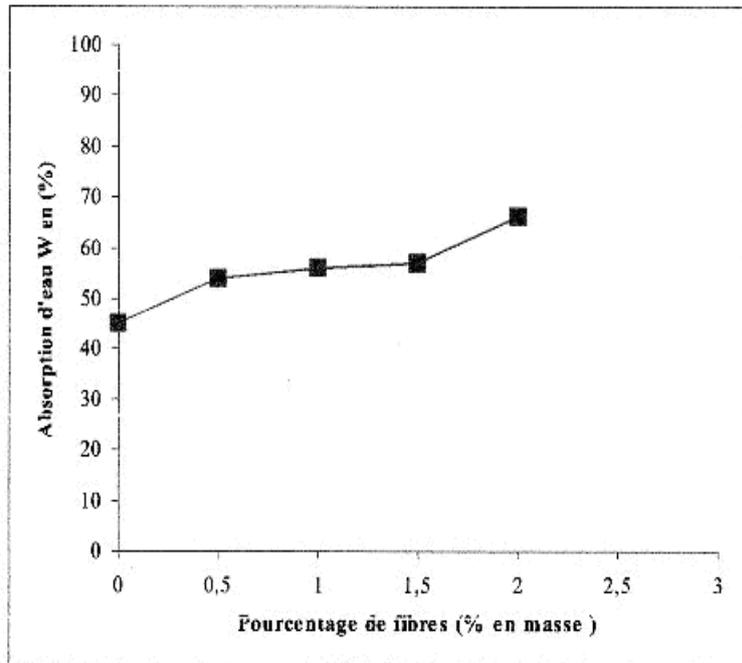


Figure II.17 : Les variations d'absorption d'eau en fonction de la concentration de fibres [26].

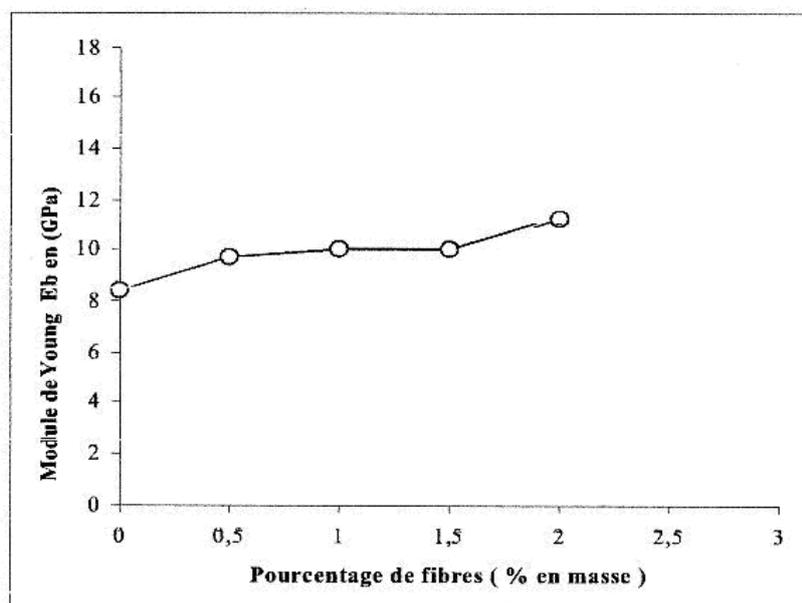
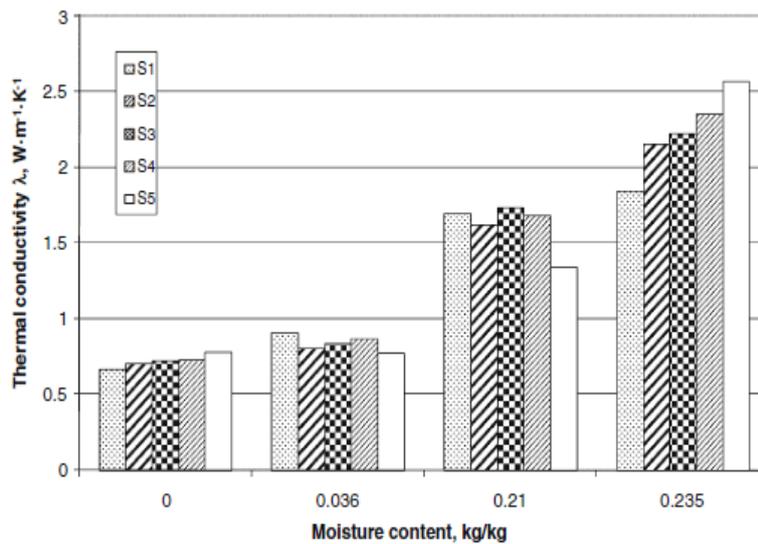


Figure II.18 : Les variations de module d'élasticité en fonction de la concentration de fibres [26].

Z. Pavlík et al [27] montrent qu'il y a une influence du taux de l'humidité sur la conductivité thermique de composite à base de la chaux de différentes propriétés (voir le tableau II.2). Ils ont constaté que la conductivité thermique augmente avec l'augmentation de taux de l'humidité (voir la figure II.19).

**Tableau II.2 :** Les propriétés des matériaux composites étudiés à base de la chaux [27].

matériaux	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{\text{mat}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\psi$ (%)
S1	1637	2478	33.9
S2	1716	2669	35.7
S3	1756	2582	35.4
S4	1767	2638	33.2
S5	1745	2663	34.5



**Figure II.19 :** Evolution de la conductivité thermique en fonction de l'humidité [27].

L. Toubal et al [28] s'intéressent à améliorer les propriétés mécaniques des matériaux composites unidirectionnels à fibres naturelles de chanvre et de lin.

L'introduction d'une ou deux couches de papier dans le processus de fabrication des plaques composites a contribué à améliorer les propriétés mécaniques observées généralement dans ces matériaux sans papier. Le résumé des propriétés mécaniques mesurées est présenté dans le tableau II.3.

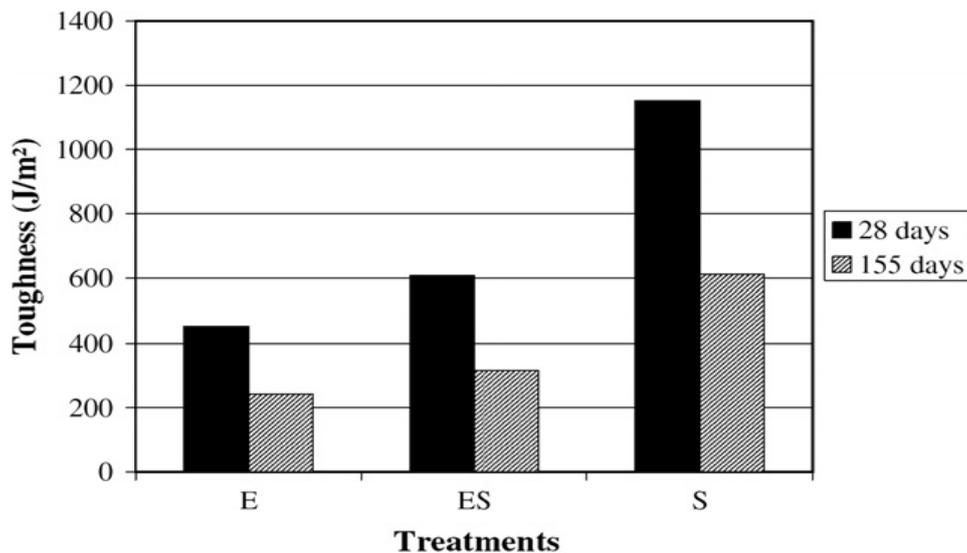
**Tableau II.3** : Le module de Young, les contraintes et les déformations à la rupture pour les éprouvettes fibres de chanvre avec et sans papiers [28].

Eprouvettes	Chanvre deux couches de papier			Chanvre sans papier		
	E(GPa)	$\sigma_{rup}$ (MPa)	$\epsilon_{rup}$ (MPa)	E(GPa)	$\sigma_{rup}$ (MPa)	$\epsilon_{rup}$ (%)
1	9.44	125	1.91	12.21	75	1.05
2	12.72	127	1.76	12.51	77	0.84
3	11.90	129	1.72	12.21	95	1.23
4	13.37	138	1.79	10.60	108	1.26
5	13.37	139	1.61	14.01	111	1.24
6	11.29	139	1.64	15.54	118	1.25
7	12.14	139	1.75	11.67	123	1.28
8	17.37	140	1.64	12.81	143	1.3
<b>Moyenne</b>	12.70	134.4	1.72	169	106.3	1.18
<b>Ecart-type</b>	2.28	6.3	0.09	1.50	23.2	0.15

F. Pacheco-Torgal et al [29] ont étudié la résistance au choc des trois matériaux bio-composites ; E (5% eucalyptus), S (3% sisal) et ES (1% eucalyptus, 3% sisal) à base de ciment portland.

Ces matériaux ont subis un traitement dans un milieu alcalin en deux étapes ; longue durée et courte durée. Enfin, ils ont remarqué la réduction de la résistance au choc d'ordre de 53% et de 68% après quatre mois d'altération externe.

Ils ont aussi constaté, le matériau chargé de sisal est plus résisté au milieu alcalin que chargé de mélange de sisal et d'eucalyptus et de sisal, puis que chargé d'eucalyptus (voir la figure II.20).

**Figure II.20** : Résilience des composites ; E (5% eucalyptus), S (3% sisal) et ES (1% eucalyptus, 3% sisal) [29]

## IV. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la dégradation des matériaux bio-composites, nous avons défini leurs différents types et leurs formes. D'après les travaux qui ont été comparables réalisés sur le travail présent, on conclure ces points:

-Les propriétés de fibres végétales (palmier dattier, sisal, chanvre, diss etc.) sont la dureté, l'élasticité, la résilience, la ténacité, la faible conductibilité thermique et électrique, la facilité d'assemblage et de façonnage, la couleur et teinte et la légèreté et ces propriétés varient selon le type de fibre végétale. En plus, ils ont des structures poreuses, ils capable d'absorber une grande quantité de l'eau et ils subissent des forces tendant à l'étirer.

-La plupart des travaux ont montré que le comportement du ciment ou gypse en présence de bois ou bois de palmier dattier a été communément attribué à l'amélioration des caractéristiques mécaniques (module de Young, résilience, traction...etc.), thermiques (la conductivité thermique) et physiques (densité volumique de composite) de ces composites.

-Les bio-composites ont été sujet aux problèmes de dégradation (humidité, charge, effet chimique, séchage etc.)

Tel qu'il a été prévu à la partie expérimentale et en se basant sur les études de la littérature présentées dans ce chapitre, il paraît nécessaire de proposer un plan de travail pour réaliser ce projet :

- 1) Réaliser une étude complète de la cinétique du séchage du bois de palmier ;
- 2) Etude du comportement physique du mortier chargé par de fibres de bois de palmier dattier;
- 3) Etude du comportement thermophysique du mortier chargé par de fibres de bois de palmier dattier à l'état sec et à l'état humide;
- 4) Caractériser le comportement mécanique (résistance à la compression);
- 5) Etude la dégradation du mortier chargé par de fibres de bois de palmier dattier dans un milieu neutre ;

## V. Références

- [1] E. Babacar, "Nouveaux matériaux composites thermo formables à base de fibres de cellulose," *Institut National Polytechnique de Grenoble*, 2008.
- [2] R.D. Gilbert, J.F. Kadla, "Cellulose modification," *Polymer Modification*, pp. 21, 2008.
- [3] R.D. Gilbert, J.F. Kadla, "Polysaccharides, Cellulose," *Biopolymers from Renewable Resources*, pp. 45-97, 1998.
- [4] A.K. Bledzki, J. Gassan, "Composite reinforced with cellulose based fibers," *Progress in Polymer Science*, vol. 24, pp. 221-274, 1999.
- [5] C.Y.A. Maxime, "Étude de la microstructure des composites bois/ciment par relaxométrie RMN du proton," pp. 39, 2009.
- [6] R. Harrison, M. Bader, "Damage development in corps laminates under monotonic and cyclic stressing," *Fiber Science and Technology*, vol. 18, pp. 163-180, 1983.
- [7] E. Gamstedt, B. Sjögren, "Micro mechanisms in tension-compression fatigue of composite laminates containing transverse plies," *Composites Science and Technology*, vol. 59, pp. 167-178, 1999.
- [8] J.W. Hoover, D. Kujawski, F. Ellyin, "Transverse cracking of symmetric and unsymmetrical glass-fiber/epoxy-resin laminates," *Composites Science and Technology*, vol. 57, pp. 1513-1526, 1997.
- [9] F. Lagattu, M.C. Lafarie-Frenot, "Variation of peek matrix crystalline in apc-2 composite subjected to large shearing deformations," *Composites Science and Technology*, vol. 60, pp. 605-612, 2000.
- [10] B.A. Sjögren, L.A. Berglund, "The effects of matrix and interface next term on damage in grip cross-ply laminates," *Composites Science and Technology*, vol. 60, pp. 9-21, 2000.
- [11] G. Lubineau, "mésomodèle d'endommagement des composites stratifiés ; relations micro-méso, possibilités et limites," in *Ecole Normale Supérieure de Cachan*, 2002.
- [12] A. Blazquez, V. Mantic, F. Paris, N. McCartney, "Beam analysis of damage progress in 0/90 laminates," *Engineering Analysis with Boundary Elements*, vol. 33, pp. 762-769, 2009.
- [13] S. Hallett, M. Winsom, "The open hole tensile test a challenge for virtual testing," 2008.

- [14] A. Argon, "Fracture of composites," *Treatise on Materials Science and Technology Academic Press, New York*, vol. 1, pp. 79-114, 1972.
- [15] C.S. Yerramalli, A.M. Waas, "A failure criterion for fiber reinforced polymer composites under combined compression-torsion loading," *International Journal of Solids and Structures*, vol. 40, pp. 1139-1164, 2003.
- [16] T. Vogler, S. Hsu, S. Kyriakides, "Composite failure under combined compression and shear," *International Journal of Solids and Structures*, vol. 37, pp. 1765-1791, 2000.
- [17] F.M. Zhao, N. Takeda, "Effect of interfacial adhesion and statistical fiber strength on tensile strength of unidirectional glass fiber/epoxy composites," *Applied Science and Manufacturing*, vol. 31, pp. 1215-1224, 2000.
- [18] E. Totry, E. González, C.J. Llorca, "Prediction of the failure locus of c/peek composites under transverse compression and longitudinal shear through computational micromechanics," *Composites Science and Technology*, vol. 68, pp. 3128-3136, 2008.
- [19] A. Bendahou, H. Kaddami, M. Raihane, Y. Habibi, A. Dufresne, "Nanocomposite materials based on date palm tree cellulose whiskers," 1999.
- [20] K. Al Rim, A. Ledhem, O. Douzane, R.M. Dheilily, "Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites," 1999.
- [21] P. Boustingorry, "Elaboration d'un matériau composite à matrice gypse et Renfort bois fragmenté-Amélioration de la résistance au vissage de produits préfabriqués en gypse," *thèse doctorat de l'école nationale supérieure des mines de saint Etienne et de l'institut national polytechnique de Grenoble*, 2002.
- [22] M. Božiková, "Thermo physical parameters of corn and wheat flour," vol. 49, pp. 157-160, 2003.
- [23] M.A. Arsène, H. Savastanojr, S.M. Allameh, K. Ghavami, W. Soboyejo, "Cementitious Composites reinforced with vegetable fibers," presented at Proceedings of the first inter American conference on non-conventional materials and technologies in the eco-construction and Infrastructure, 2003.
- [24] L.M.M. Bederinaa, K. Mezrebb, M.M. Khenfera, A. Bali, M. Quéneudec, "Effect of the addition of wood shavings on thermal conductivity of sand concretes," *Experimental study and modeling*, 2007.

- [25] M. Bederina, Z. Makhloufi, M. Quéneudec, "allégement des bétons de sables locaux par ajout de copeaux de bois traités et non traités et caractérisations physico-mécaniques et microstructure," 2009.
- [26] A. Djoudi, M. Mouldi Khenfer, A. Bali, "Etude d'un nouveau composite en plâtre renforcé avec les fibres végétales du palmier dattier," 2009.
- [27] Z. Pavlík, M. Pavlíková, L. Fiala, R. Cerný, "Effect of Moisture on Thermal Conductivity of lime-based composites," 2009.
- [28] L. Toubal, G. Lebrun, "A novel method of manufacture of natural fibers composites; Contribution of a paper layer to minimize the disparity in mechanical properties," 2011.
- [29] F. Pacheco-Torgala, S. Jalalib, "Cementitious building materials reinforced with vegetable fibers," 2011.



# **Chapitre III**

**Etude expérimentales des  
composites à base de bois de  
palmier dattier et du mortier**

Ce chapitre est composé de trois parties, la première partie est dédiée aux matériaux utilisés et aux techniques d'étude des propriétés des fibres. La deuxième est consacrée aux préparations des échantillons des composites à base de bois de palmier dattier et du mortier. Dans la troisième partie on s'intéresse aux mesures expérimentales des propriétés de ces composites.

## I. Matériaux et méthodes expérimentales

### I.1. Matériaux

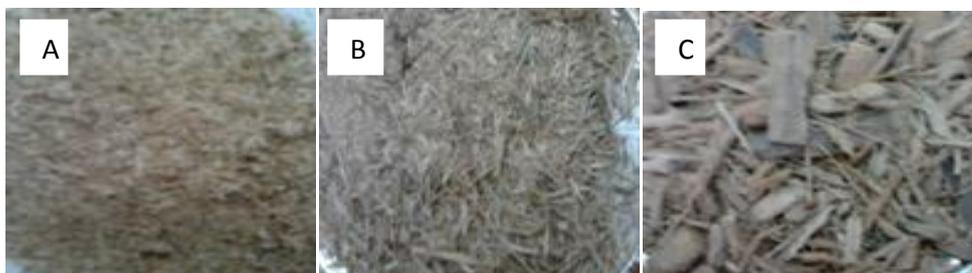
#### I.1.1. Fibres

Le bois de palmier dattier BPD (*Phoenix dactylifera* L.) est utilisé sous forme des fibres dans les composites. Le BPD a été broyé avec un broyeur mécanique afin d'obtenir des différentes tailles de fibres.

Les tailles des fibres des échantillons (A, B et C) sont distinguées de manière suivante :

- Echantillon A : les particules de taille fine.
- Echantillon B : Mélange de A et de B.
- Echantillon C : les particules de taille grosse.

La figure III.1 présente les échantillons (A, B, C) utilisés dans nos composites.



**Figure III.1:** Différentes tailles des fibres de bois de palmier dattier A, B et C.

L'analyse granulométrique permet de déterminer les différents diamètres des fibres qui constituent les échantillons. De ce fait, l'analyse consiste à séparer et à classer les fibres de bois selon leur diamètre à l'aide de la série des tamis suivante en (mm) : 2.5 , 3.15 , 4,5, 6.3 , 8 , 10 , 12.5 , 16 , 20 , 25 , 31.5. La figure III.2 représente l'appareil de tamisage utilisé pour le classement des tailles des fibres de bois de palmiers dattier (fin, gros et mélange).



**Figure III.2:** Appareil de tamisage (Retsch).

Les résultats du tamisage sont présentés dans le tableau III.1.

**Tableau.III.1 :** Résultats des tamisât cumulés de trois échantillons de bois.

Tamis (mm)	Tamisât cumulés *(%)		
	Echantillons		
	Grosse	Fines	Mélange
31.5	100	100	100
25	100	100	100
20	100	100	100
16	99.05	100	99.15
12.5	98.42	100	97.95
10	94.17	100	94.79
8	92.14	100	89.68
6.3	88.29	100	84.02
5	82.09	100	76.69
4	71.84	100	71.52
3.15	64.83	99.16	63.11
2.15	56.02	98.55	60.22

\* (%): Le pourcentage massique du matériau passant à travers un tamis.

### I.1.2. Ciment

Le ciment utilisé est un ciment portland composé CPJ-CEMII/A32.5 de provenance de la cimenterie d'Ain Touta en Algérie.

### I.1.2.1 Masse Volumique Apparente

La masse volumique apparente du ciment est la masse à l'état naturel du matériau rapportée à l'unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides, elle est donnée par la formule suivante [1,2,3] :

$$\rho_a = \frac{M_t}{V_t} \quad (\text{III.1})$$

$M_t$  : Masse totale d'échantillon.

$V_t$  : Volume total d'échantillon avec tenir en compte des vides pouvant exister entre les grains d'un échantillon.

La masse volumique apparente du ciment utilisé est égale  $\rho_a = 2120 \text{ kg/m}^3$ .

### I.1.2 .2 Masse Volumique Absolue

C'est la masse par unité de volume de la matière solide qui constitue le ciment sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains, elle est donnée par la formule suivante [12]

$$\rho_{ab} = \frac{M_t}{V_a} \quad (\text{III.2})$$

$M_t$  : Masse totale d'échantillon.

$V_a$  : le volume absolu sans tenir en compte des vides pouvant exister entre les grains d'un échantillon.

La masse volumique absolue du ciment utilisé est égale  $\rho_{ab} = 3034 \text{ kg/m}^3$ .

Les caractéristiques du ciment de portland sont citées dans le tableau suivant :

**Tableau III.2 :** Composition chimique de ciment Portland d'Ain Touta [4-5].

Oxyde	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
(%)	62-67	19-25	2-9	1-5	0-3	1-3	0.6	0.2

### I.1.3. Ciment prompt(VICAT)

Le ciment prompt est utilisé pour le surfacage des composites. Le ciment prompt (VICAT) est conforme aux normes NF P 15-314 et NF P 15-317 (Agréé Prise Mer). Il présente entre autres les avantages suivants :

- 1- Prise rapide (env. 2 minutes à 20°C),
- 2- Résistances initiales élevées (> 6 MPa à 1 heure),
- 3- Résistance à la corrosion (eau de mer, eaux séléniteuses, eaux pures et acides),
- 4- Utilisation intérieure / extérieure,
- 5- Retrait limité.

### I.1.3.1 Caractéristique

Les Caractéristiques techniques de ciment prompt sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau III.3** : Les caractéristiques techniques de ciment prompt (VICAT) [6].

Aspect	Couleur	Surface spécifique	Blaine*	Temps de prise (à 20°C)
Poudre	Gris beige	5000		Environ 2 minutes

\* : Sa mesure permet de déterminer la finesse du ciment ; elle est exprimée en  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

### I.1.4. Adjuvant

L'adjuvant utilisé dans ce travail est le **MEDAFLOW 30**, il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.

#### I.1.4.1 Propriétés

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des propriétés de mortier de très haute qualité. On peut citer:

- 1- Amélioration considérable de la fluidité et augmentation de la résistance mécanique.
- 2- Très bonne maniabilité.
- 3- Eviter la ségrégation, les pores et le risque de fissuration.
- 4- Faciliter la mise en œuvre.
- 5- Augmenter la durabilité.

#### I.1.4.2 Caractéristique

Les Caractéristiques de l'adjuvant de MEDAFLOW30 sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau III.4** : Les caractéristiques de MEDAFLOW 30 [7].

Aspect	Couleur	Ph	Densité	Chlore	Extrait sec
liquide	brun clair	6-6,5	1.07±0,01	< 0.1g/l	30%

### I.1.5. Sable

Le sable utilisé est de type artificiel concassé gris de taille compris entre 0.01mm et 5 mm, le rôle du sable dans notre composite est de stabiliser la pâte de ciment pour éviter les fissures de mortier de bois de palmier dattier.

### I.1.6. Eau de gâchage

L'eau utilisée est celle du robinet de la ville de BATNA. L'eau sert d'une part à l'hydratation du ciment et d'autre part elle permet la fluidification de la pâte. Dès que l'eau

entre en contact avec le ciment anhydre, réagit pour se combiner et former les hydrates de ciments.

L'analyse chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire de traitement des eaux de l'hydraulique de l'université de BATNA. Modèle de l'appareil utilisé est multi paramètre de type "Electrochemical analyser consort C6030" et il a donnée la constitution chimique de l'eau en mg/l à l'aide des électrodes de cet appareil, chaque électrode porte le nom d'élément détecté .Ces éléments sont donnés dans le tableau III.5.

**Tableau III.5 :** Analyse chimique de l'eau de gâchage [8].

Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	HCO <sup>-3</sup>	pH	salinité
242	125	31	536	755	14.5	755	124	7.75	2799

## I.2. Technique de séchage

Les échantillons ont été séchés à une température de 70°C jusqu'a la stabilisation de la masse indiquée sur l'appareil pendant les différents intervalles de temps.

L'objectif du procédé de séchage est de diminuer le plus rapidement possible la teneur en eau existante dans le bois. Le séchage a été réalisé à l'aide d'une balance d'analyse d'humidité (Moisture Analyser Balance) OHAUS MB200 (voir la figure III.3) à une température T= 70°C. Cette technique a été effectuée sur trois échantillons (A-B et C).Le séchage à l'état naturel ou et à l'état humide a été effectué, tous les résultats sont donnés dans le tableau III.6.



**Figure III.3 :** Analyseur d'humidité OHAUS MB200.

Cet appareil (voir la figure III.3) est basé sur deux procédés :

- Le séchage avec l'énergie infrarouge à (irradiateurs halogène), d'un échantillon jusqu'au poids constant.
- Mesurer le changement du poids d'échantillon (selon le temps réglé) à l'aide d'une balance de précision intégrée de (précision = 0.001gramme) durant tout le procédé de séchage.

Après un procédé de séchage, l'analyseur d'humidité peut déterminer la substance sèche qui reste de la substance totale préalablement pesée (solide) et calcule l'humidité (perte de poids).

La teneur en eau est définie comme la masse d'eau présente dans le bois rapportée à sa masse anhydre dans quelque temps de séchage, elle est exprimée par la relation suivante:

$$H(\%) = \frac{(m_h - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (\text{III.3})$$

$m_h$  : La masse de l'échantillon humide en gramme.

$m_s$  : La masse de l'échantillon à l'instant t de séchage en gramme.

$H(\%)$  : le taux d'humidité.

Le pourcentage massique de perte d'eau est calculé par l'équation III.4

$$\Delta m(\%) = \frac{(m_{in} - m(t))}{m_{in}} \times 100 \quad (\text{III.4})$$

$\Delta m(\%)$  : Le pourcentage de perte en masse

$m_{in}$  : La masse initiale de l'échantillon avant le séchage en gramme.

$m(t)$  : La masse mesurée de l'échantillon après un instant t de séchage en gramme

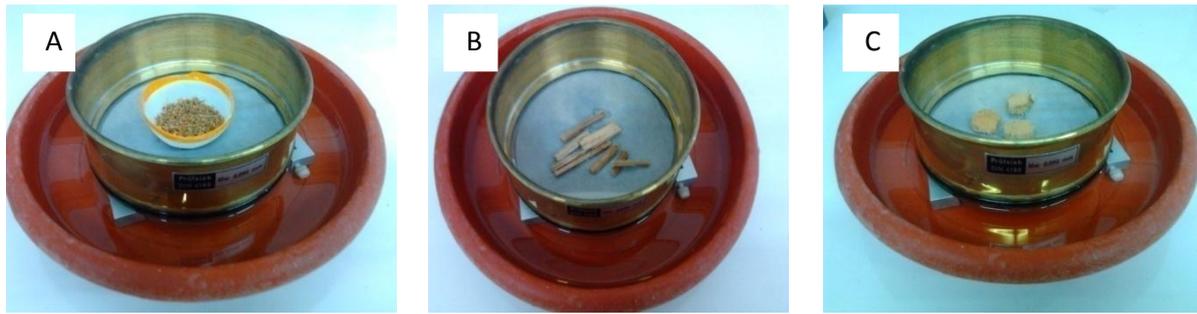
**Tableau III.6:** Perte de masse et la teneur en eau massique (taux d'humidité) des échantillons de bois en fonction du temps à 70°C.

Temps (min)	Perte de masse (%)			Taux d'humidité (%)		
	A	B	C	A	B	C
0	0	0	0	433.33	155.71	323.52
5	0.5	1.67	0.6	422.22	151.42	316.17
10	2.5	3.91	2.41	405.55	145.71	304.41
25	4.56	10.05	5.17	384.72	130.00	288.23
35	7.6	19.55	8.96	359.72	105.71	269.11
45	11.42	28.49	13.44	329.16	82.85	247.05
55	15.98	37.98	18.62	294.44	58.57	217.64
75	21.57	44.69	25.51	255.55	41.42	191.17
95	27.91	51.39	31.72	212.5	24.28	160.29
115	35.02	55.86	38.96	166.66	12.85	135.29
135	42.89	58.10	44.82	113.88	7.14	127.94
155	51.26	59.77	46.55	75	2.85	95.58
175	60.91	60.33	54.13	26.38	1.42	61.76
195	68.02	60.33	62.06	2.77	1.42	33.82
215	76.90	60.89	68.62	0	0	14.70
235	81.21	60.89	73.10	0	0	4.41
255	81.21	60.89	75.51	0	0	0
275	81.21	60.89	76.55	0	0	0
295	81.21	60.89	76.55	0	0	0
315	81.21	60.89	76.55	0	0	0

### I.3. Technique de saturation

Le but de cette partie consiste à déterminer le taux de saturation du volume des vides du bois étudié et d'avoir une idée sur le phénomène de reprise en eau et la porosité du bois. Pour cela, cette partie est dédiée à la détermination de gain massique en eau et de la porosité massique de trois échantillons du bois de palmier dattier.

Les trois échantillons A, B et C, sont préalablement séchés dans une balance d'analyse d'humidité (voir la figure III.3) à  $T= 70^{\circ}\text{C}$  jusqu'au poids constant. Le choix de cette température est lié au séchage conventionnel (température entre  $50^{\circ}\text{C}$  et  $100^{\circ}\text{C}$ ) [8].



**Figure III.4 :** Dispositif de saturation des fibres de bois de palmier dattier A, B et C.

Le suivi de la masse est effectué par peser à chaque instant à l'aide de l'analyseur d'humidité jusqu'à la saturation. L'absorption de l'eau représente le poids d'eau d'un échantillon qui peut absorber jusqu'à la saturation, L'absorption est définie comme une quantité d'eau absorbée à l'instant(t) par rapport à la masse sec de l'échantillon [9].

$$W(\%) = \frac{m(t) - m_s}{m_s} \times 100 \quad (\text{III.5})$$

$m(t)$  : la masse de l'échantillon à l'instant t après la saturation en gramme.

$m_s$  : la masse sèche en gramme

$W(\%)$  : le taux d'absorption

La porosité est définie par le rapport entre le volume de pores ( $V_p$ ) et le volume total ( $V_t$ ) de matériau, elle s'exprime par la relation (II.6) [10].

$$P(\%) = \frac{V_p}{V_t} \times 100 \quad (\text{III.6})$$

Dans ce procédé de saturation, l'eau est absorbée sous l'effet de capillarité. Les échantillons (A, B et C) sont posés sur le dispositif qui se compose d'un papier filtré superposé sur un tamis de 0.05mm d'ouverture, ces derniers sont juste articulés au dessus d'une surface libre de l'eau dans un récipient. Pour l'échantillon (A), on ajoute l'assiette perméable pour le peser directement et éviter la perte des particules fines (voir la figure.III. 4).

Les séries de l'absorption des fibres de BPD (A-B et C) en fonction de temps sont données dans le tableau III7.

**Tableau III. 7 :** Gain massique en eau des échantillons de bois en fonction du temps.

Temps (min)	Gain massique d'échantillon (%)		
	A	B	C
0	0	0	0
5	41.51	3.14	4.545
10	104.81	64.15	19.02
25	162.38	90.56	30.209
35	183.25	100	48.182
45	183.94	116.98	57.273
55	184.63	125.78	63.636
75	204.58	132.70	70.00
95	208.71	137.10	123.636
115	222.24	142.76	152.727
135	223.16	154.08	171.818
155	223.16	161.63	182.727
175	223.16	167.29	210
195	223.16	169.18	215.454
215	223.16	174.21	219.09
235	223.16	174.21	225.454
255	223.16	174.21	236.363
275	223.16	174.21	250
295	223.16	174.21	260
315	223.16	174.21	260

#### I.4. Préparation des échantillons

La préparation des éprouvettes des composites à base de bois de palmier dattier et du mortier est effectuée selon une méthodologie inspirée de la norme de béton traditionnelle. Ces étapes sont effectuées de la façon suivante :

- 1- Malaxage à l'état sec des matières premières (sable, ciment et fibres de BPD) pendant trois minutes à vitesse lente, pour bien homogénéiser ces matières.
- 2- Gâchage des matières mélangées, en conservant le malaxage à vitesse lente pendant trois minutes. On ajoute progressivement de l'eau jusqu'à ce que mélange devient plus malléable.
- 3- L'homogénéisation du mélange est assurée par un malaxage à vitesse lente pendant trois minutes puis une minute à vitesse rapide,
- 4- Le moulage dans les moules cubiques (15×15×15) cm<sup>3</sup>, ils sont remplis en trois couches, suivie d'un picage surfacique pour chaque couche.

5- Les moules sont exposés dans les conditions du laboratoire ( $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) et une humidité relative (HR) de (25 %) durant 48 heures.

6- Le démoulage a été effectué avec précaution pour éviter toute détérioration des échantillons

7- Séchage, les échantillons sont conservés en même milieu pendant 28 jours .La mise en ouvre a été effectuée en mois de juillet 2012. Les éprouvettes sont illustrées dans la figure III.5.

**Tableau III. 8:** Composition massique en kilogramme des différents échantillons de mortier de fibres (fin, gros et mélange de BPD).

Fibres (%)	Ciment (kg)	Sable (kg)
0	17.81	6.75
5	11.4	4.205
10	11.4	4.205
15	11.4	4.205
20	11.4	4.205
25	11.4	4.205
30	11.4	4.205

**Tableau III. 9:** Composition massique en pourcentage des différents échantillons de mortier de fibres (fin, gros et mélange de BPD).

Fibres (%)	Ciment (%)	Sable (%)
0	73	27
5	69	26
10	66	24
15	62	23
20	58	22
25	55	20
30	69	24

Nous avons obtenu quatre types de composite à savoir :

- Mortier à base de ciment stabilisé par une quantité de sable.
- Mortier à base de ciment et des fibres fines de bois de palmier dattier (5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 % et 30 %).
- Mortier à base de ciment et des fibres grosses de bois de palmier dattier (5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 % et 30 %).
- Mortier à base de ciment et des fibres mixtes de bois de palmier dattier (5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 % et 30 %).

Les tableaux III.8-9 présentent la quantité (en kilogramme et en pourcentage) de mélange de quatre éprouvettes d'un volume cubique (15×15×15) cm<sup>3</sup>



**Figure III.5 :** Echantillons après démoulage.

Nous avons suivis l'évolution de la masse des dimensions des éprouvettes en les mesurant après chaque semaine jusqu'à 28 jours à l'aide un pied à coulisse de vernier de l'erreur 0.05mm. Par ailleurs une balance électrique de précision 1 mg (voir la figure III.8) est utilisée pour les mesures de la masse des échantillons.

#### **I.4.1. Masse volumique absolue**

C'est la masse par unité de volume de l'échantillon qui constitue le mortier et les fibres sans tenir compte des vides pouvant exister dans ce composite soit superficielle ou interne. Elle est donnée par la formule suivante:

$$\rho_{ab} = \frac{Mt}{Va} \quad (\text{III.7})$$

*Mt* : la masse totale d'éprouvette en kilogramme

*Va* : le volume d'éprouvette sans prendre les vides et les pores en considération.

Les masses volumiques absolues des composites à base des trois tailles des fibres de bois de palmier dattier après chaque période de séchage naturels sont présentés dans les tableaux suivants ;

**Tableau III.10 :** Les valeurs des masses volumiques des composites à base des fibres fines de bois de palmier dattier pendant 28 jours de séchage.

Temps (jour)	Concentration des fibres fines (%)						
	0	5	10	15	20	25	30
	Masse Volumique (Kg/m <sup>3</sup> )						
0	2023,7	1805,79	1675,21	1338,19	1271,67	1236,76	1199,4
7	1991,7	1686,04	1491,42	1165,69	1098,26	1000	946,74
14	1992,88	1495,6	1446,68	1111,11	1017,44	890,53	890,2
21	1947,16	1469,2	1443,14	1026,39	906,43	830,86	818,45
28	1910,8	1460,17	1372,05	983,72	860,29	760,41	797,01

**Tableau III.11 :** Les valeurs des masses volumiques des composites à base des fibres grosses de bois de palmier dattier pendant 28 jours de séchage.

Temps (jour)	Concentration des fibres grosse (%)						
	0	5	10	15	20	25	30
	Masse Volumique (Kg/m <sup>3</sup> )						
0	2023,7	1650,42	1774,19	1509,97	1324,36	1153,84	1138,72
7	1991,7	1472,05	1414,95	1242,07	1192,95	1013,15	951,11
14	1992,88	1449,7	1382	1210,37	1135,05	850,57	835,22
21	1947,16	1439,16	1378,69	1175,59	1077,36	840,57	820,8
28	1910,8	1425,81	1356,93	1149,25	1062,13	836,25	789,24

**Tableau III.12:** Les valeurs des masses volumiques des composites à base des fibres mixtes de bois de palmier dattier pendant 28 jours de séchage.

Temps (jour)	Concentration des fibres mixtes (%)						
	0	5	10	15	20	25	30
	Masse Volumique (Kg/m <sup>3</sup> )						
0	2023,7	1664,75	1665,21	1605,79	1153,95	1158,5	1218,84
7	1991,7	1498,55	1393,58	1324,36	896,89	970,67	912,1
14	1992,88	1478,26	1371,34	1346,59	857,54	846,04	789,47
21	1947,16	1467,83	1372,43	1320	816,67	823,96	773,52
28	1910,8	1472,05	1349,71	1293,69	840,11	750,73	757,35

#### I.4.2. Techniques de mesure des propriétés thermophysiques de composite de fibres de BPD.

Les propriétés thermophysiques ; la conductivité thermique, la diffusivité thermique et la chaleur spécifique sont mesurées à l'aide d'un appareil de type (ISOMET 2114), c'est un appareil commercial de type "Précision appliquée, Ltd."

Comme il est illustré sur la figure III.6, la cellule de mesure est constituée d'une sonde munie directement par un afficheur électronique qui permet d'afficher les propriétés thermophysiques.

Cet appareil est utilisable uniquement pour les échantillons d'une surface supérieure ou égale de 100 cm<sup>2</sup>.

Le principe de mesure est basé sur l'exposé d'échantillon à la température d'un chauffage électrique de la sonde de l'appareil, le processus de transfert de la chaleur par contact direct entre les particules d'un échantillon. La chaleur passe de surface supérieur de l'échantillon vers l'inférieur par contact.

Les mesures sont effectuées à l'état humide et à l'état sec, avant la réalisation de ces deux mesures, les échantillons sont placés dans une étuve de type JOUAN (voir la figure III.7) à une température de 80°C pendant 24 heures pour extraire l'humidité existé dans l'échantillon.



**Figure III.6 :** Dispositif de mesure des propriétés thermophysiques (ISOMET 2114).



**Figure III.7 :** Etuve permanente 24h/24h type JOUAN.

Les valeurs de la conductivité thermique, de la diffusivité thermique, de la chaleur spécifique, de la température moyenne et de l'amplitude de la température sont présentées dans les tableaux III.13- 15

**Tableau III.13:** Les propriétés thermophysiques pour les échantillons à base des fibres mixte de bois de palmier dattier.

F(%)	Caractéristiques thermophysiques					
	$\lambda$ (w.m <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> )	a (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ).10 <sup>-6</sup>	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J.kg <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> )	Tm (°C)	$\Delta T$ (K)
0	0,8039	0,4975	1910,8	898.21	21.87	9.89
5	0,3933	0,2527	1472,05	1102.27	18.98	9.98
10	0,2385	0,1721	1349,71	1133.72	19.24	9.85
15	0,1400	0,1438	1293,69	1130.48	20.95	9.91
20	0,1305	0,0790	840,11	1735.84	18.71	9.86
25	0,1145	0,0636	750,73	1870.84	19.22	9.98
30	0,1057	0,0658	757,35	1762.72	19.54	9.86

**Tableau III.14:** Les propriétés thermophysiques pour les échantillons à base des fibres fines de bois de palmier dattier.

F(%)	Caractéristiques thermophysiques					
	$\lambda$ (w.m <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> )	a (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ).10 <sup>-6</sup>	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J.kg <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> )	Tm (°C)	$\Delta T$ (K)
0	0,8039	0,4975	1910,8	898.21	21.87	9.89
5	0.3932	0.2455	1460,17	1096.72	21.93	9.86
10	0.2384	0.1552	1372,05	1119.78	22.37	9.84
15	0.1400	0.0958	983,72	1485.17	21.06	9.89
20	0.1305	0.0911	860,29	1663.41	21.11	9.88
25	0.1145	0.0782	760,41	1924.48	18.84	9.88
30	0.1057	0.0747	797,01	1775.76	19.74	9.87

**Tableau III.15 :** Les propriétés thermophysiques pour les échantillons à base des fibres grosses de bois de palmier dattier.

F(%)	Caractéristiques thermophysiques					
	$\lambda$ (w.m <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> )	a (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ).10 <sup>-6</sup>	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J.kg <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> )	Tm (°C)	$\Delta T$ (K)
0	0,8039	0,4975	1910,8	898.21	21.87	9.89
5	0.6277	0.3824	1425,81	1151.27	19.97	9.89
10	0.4304	0.2803	1356,93	1131.45	20.08	9.91
15	0.2223	0.1604	1149,25	1206.17	20.05	9.89
20	0.1556	0.1094	1062,13	1339.47	19.12	9.90
25	0.1131	0.0802	836,25	1687.77	20.04	9.88
30	0.0603	0.0429	789,24	1780.19	19.04	9.83

Une balance électronique modèle Olivetti (max 10000g, min 1 mg) a été utilisée pour mesurer le taux d'humidité. Le principe de mesure consiste à peser la masse de l'échantillon avant et après immersion total dans l'eau comme montré dans la figure III.8.



**Figure III.8 :** Balance électronique modèle Olivetti.



**Figure III.9:** Echantillon de béton de fibre de BPD immergé totalement dans l'eau.

Le taux d'humidité est calculé d'après la relation suivante :

$$H(\%) = \frac{m_h - m_0}{m_0} \times 100 \quad (\text{III.8})$$

$m_0$  : masse sec avant l'immersion (masse anhydre).

$m_h$  : masse hydrique après chaque de temps de peser.

Les valeurs de la conductivité thermique en fonction de l'humidité sont présentées dans le tableau III. 16.

**Tableau III. 16 :** Les propriétés thermiques des composites à base de bois de palmier dattier de 15% de concentration de FBPD en fonction de l'humidité.

H(%)	Composite de fibres mixtes	Composite de fibres grosses	Composite de fibres fines
0	0,14	0,22	0,14
12,6	0,32	0,3	0,22
15,8	0,52	0,38	0,3
17,6	0,66	0,46	0,38
19	0,72	0,54	0,46
20	0,77	0,6	0,48

#### I.4.3. Technique de surfaçage

Lors de la préparation des éprouvettes pour les essais de compression, on observe un contact incomplet entre les deux bords de la machine de compression. Pour remédier à ce problème, on utilise la technique de surfaçage (voir la figure III.11). Le surfaçage est effectué sur toute surface moins nivelée ou plus rugueuse.

Le ciment de surfaçage doit avoir une résistance plus élevée à celle de l'échantillon. La technique est basée sur le malaxage des matériaux (ciment prompt, sable à l'état sec) pour obtenir un mélange homogène. Ensuite, ce mélange est malaxé avec l'eau et une quantité de retardateur de prise. Le malaxeur utilisé dans cette opération est de type "ELE International limited" (voir la figure III.10) Le mélange est versé dans un moule de 3 mm d'épaisseur et de 15×15cm<sup>2</sup> de surface.

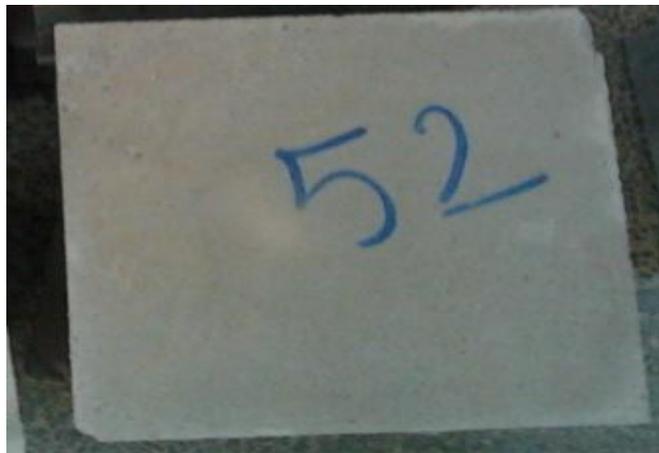
On remet l'éprouvette à la face rugueuse dans un moule et on conserve la forme cubique de l'échantillon par un niveau. On obtient des surfaces plates de la figure III.11

**Tableau III.17 :** Composition des matériaux utilisés dans la technique de surfaçage.

Composition	formulation	Quantité pour surfacer 0.225m <sup>2</sup>
Ciment prompt	85%	850gr
sable<1mm	15%	150gr
Adjuvant MEDAFLOW30	5% de ciment	42.5gr
Eau	50% de ciment	425gr



**Figure III.10 :** Malaxeur (ELE International limited)



**Figure III.11 :** Echantillons surfacés par ciment prompt(VICAT).

#### **I.4.4. Mesure de la résistance à la compression**

La résistance à la compression est mesurée par écrasement sur des cubes de  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$  de composite de fibre de BPD.

Les essais de compression ont été réalisés sur une machine de compression de type Controlab (voir la figure III.12) à température de  $23^\circ\text{C}$  et un taux d'humidité de 38% avec la vitesse de la charge  $0.5 \text{ MPa/s}$ . La mesure de la déformation est réalisée avec un vérin hydraulique d'une longueur nominale de 100 mm.



**Figure III.12:** Appareil d'essai de la résistance de compression (Controlab).

Les résultats sont affichés directement sur l'écran de la machine et ils sont présentés dans le tableau III.18.

**Tableau III.18:** Les résistances de compression des échantillons de béton aux différentes concentrations de bois de palmier dattier avec trois tailles des fibres.

Fibre de bois (%)	Resistance de compression(MPa)		
	Echantillon aux fibres mixtes	Echantillon aux fibres grosses	Echantillon aux fibres fines
0	34.870	34.870	34.870
5	5.356	2.820	2.750
10	1.521	2.560	1.830
15	2.642	2.671	1.443
20	0.473	2.300	0.370
25	0.264	0.795	0.356
30	0.300	0.516	0.197

#### I.4.5. Analyse de surface

Les résultats de la compression montrent que la résistance à la compression diminue en fonction de la concentration des charges. Ce comportement est principalement lié à l'adhérence entre les fibres de BPD interfaces fibres/fibres de BPD et fibres/mortier qui influence directement sur la résistance à la compression dans les composites. Ceci nous conduit à réaliser une caractérisation structurelle des morceaux des éprouvettes écrasées. Cette caractérisation est effectuée à l'aide de l'appareil photos.

### **I.5. Technique d'étude de dégradation**

Le facteur principal de dégradation des composites de BPD et mortier ou même les autres matériaux est généralement l'environnement (l'atmosphère ou des autres milieux, aqueuse, acide etc.). Dans le travail présent, nous avons étudié la résistance des échantillons de BPD et mortier dans un milieu (eau potable) suivant ces étapes :

- 1- Choisir des échantillons de fibres de BPD et de mortier (conception parfaite).
- 2- On conserve les pesés des échantillons avant l'immersion.
- 3- On immerge totalement les échantillons d'une concentration de 15% de fibres de BPD pour différentes charges (grosses, fines, et mixtes) dans un récipient de l'eau pendant 720 heures.
- 4- On retient les pesés des échantillons après l'immersion.
- 5- Cette technique a été effectuée par inspection visuelle. Après des images ont été prises par appareil photo sur les surfaces des échantillons.

## **II. Conclusion**

Les conclusions qu'on peut tirer de l'étude expérimentales des composites à base de bois de palmier dattier et du mortier sont :

- les ciments utilisés sont ; un ciment CPJ CEMII A/ 32.5 de la cimenterie de Ain Touta, de poids spécifique inférieur à la moyenne habituelle des ciments de 2.9, une finesse élevée et une prise satisfaisante aux spécifications des ciments courants, avec un taux d'alcalis  $>$  à 0.60 % et un ciment prompt pour le surfacage des composites, ce ciment prompt (VICAT) est conforme aux normes NF P 15-314 et NF P 15-317 (Agréé Prise Mer), il a aussi de dureté très élevée que celles ces composites.
- Le sable utilisé est de type artificiel concassé gris de taille compris entre 0.01mm et 5 mm.
- L'eau de gâchage est celle de robinet de la ville de Batna.
- L'adjuvant utilisé c'est un super plastifiant de type MEDAFLOW30 de pH neutre et de teneur en chlore faible et qui a pour effet l'amélioration de l'état de surface de la pâte de ciment prompt.
- Les fibres utilisées sont des fibres de surface de palmier dattier de Biskra (type Dokar) de masse volumique apparente faible et qui ont un taux d'absorption d'eau assez élevé qui dépasse les 200 %, avec une résistance à la traction moyenne de 290 MPa à  $L=20$  mm.
- Les appareils utilisés sont ; analyseur d'humidité MB200, ISOMET 2114 de mesure des caractéristiques de thermophysique et controlab de l'écrasement.

### III. Références

- [1] F. Gorisse, "Essais et Contrôle des bétons," vol. 200, 1978.
- [2] G. Dreux, J. Festa, "Nouveau guide du béton," *Édition EYROLLES, Paris*, 1998.
- [3] R. Dupain, R. Lanchon, S. Arroman, J. C, "Granulats, sols, ciments et bétons - caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire," vol. 235, 2000.
- [4] A.T.H.I.L, "Guide pratique pour l'emploi des ciments," 1998.
- [5] I. MTERIAUX, "fiche technique," *Édition CIIC*, 2002.
- [6] MEDCAFLOW, "fiche technique conforme à la norme EN934-2 :TAB3.1 et ab3.2 NA774."
- [7] "Normes standard de réalisation de ciment prompt VICAT, NF P 15-314 et NF P 15-317."
- [8] This work, " study of materials reinforced with date palm wood: durability, degradation, structurals and transfers properties," *magister thesis, Elhadj Lakhedar University of Banta*, 2013.
- [9] M. Božiková, "Thermophysical parameters of corn and wheat flour," vol. 49, pp. 157-160, 2003.
- [10] M. Bederina, L. Marmoret, K. Mezreb, M.M. Khenfer, A. Bali, M. Quéneudec "Effect of the addition of wood shavings on the thermal conductivity of the sand concretes - experimental study and modelling," *Construction and Building Materials*, vol. 21, pp. 662-668, 2007.
- [11] M. Eustafievici, O. Muntean, M. Muntean, "Influence of the waste characteristics and its chemical treatment on the composites properties," *International Conference on Non-Conventional Materials and technologies, Hanoi, Vietnam*, 2002.
- [12] L. Jennifer, P. Pehanich, R. Blankenhorn, M.R. Silsbee, "Wood fiber surface treatment level effects on select mechanical properties of wood fiber-cement composite," *Cement and concrete research*, vol. 34, pp. 59-65, 2004.



# **Chapitre IV**

## **Etude comparative et discussions de résultats**

Ce chapitre est composé de deux parties, on s'intéresse dans la première partie à l'interprétation des résultats obtenus par le séchage et par la saturation des fibres de BPD. Nous présentons également dans cette partie la comparaison des résultats des fibres de BPD avec les autres résultats des fibres végétaux.

La deuxième partie de ce chapitre est consacrée à la présentation des résultats obtenus concernant les caractéristiques physiques, mécaniques et thermophysiques des composite à base des fibres de BPD et du mortier. Dans cette partie, on fait le point sur l'influence de milieu basique sur ces échantillons de fibres de BPD et du mortier.

## I. Effet de l'eau sur les fibres de bois de palmier dattier

Les propriétés des fibres de bois de palmier dattier comme le retrait, le gonflement volumique, la résistance mécanique, la conductivité thermique ont été étudiées. Ces propriétés dépendent de l'absorption et de la désorption de l'eau. Parce que l'eau joue un rôle de plastifiant pour les chaînes polymères constituant les parois cellulaires et augmente la mobilité des chaînes des fibres de BPD.

### I.1. Resistance à l'eau des fibres de bois de palmier dattier

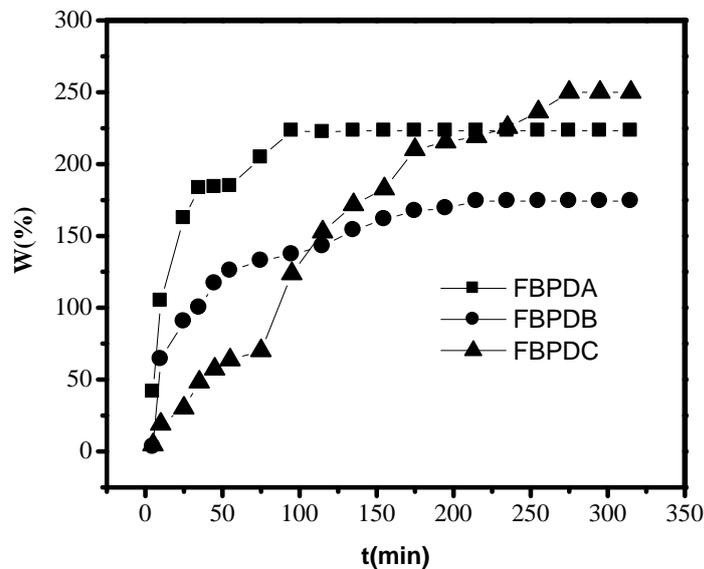
Le tableau IV.1 présente l'absorption d'eau jusqu'à saturation des fibres de bois de palmiers dattiers comparées avec d'autres fibres naturelles. Les résultats de cette étude sont similaires avec ceux du Abani et al [1], qui a utilisé les fibres plates du palmier dattier. Il est noté que l'absorption d'eau dans le bois de palmier dattier est similaire à celle du sisal et du chanvre, et moins importante que les fibres de banane, tandis qu'elle est plus importante que le liège.

**Tableau IV.1 :** Absorption d'eau jusqu'à la saturation de quelques fibres naturelles.

Fiber	Longueur (mm)	Diamètre(mm)	Epaisseur(mm)	PSF*(%)	Référence
surfaces du palmier	300-500	001-008	-	60-84	[1]
surfaces du palmier	200-300	001-008	-	97-203	[1]
Sisal	0. 200-0.227	-	-	110 - 240	[2, 3]
Banane	-	-	0.200	407	[3]
Liège	-	-	0.200	85-105	[3]
Eucalyptus	-	-	0.200	643	[3]
Copeaux du Bois	-	-	0.200	100	[4]
Chanvre	-	-	-	160	[4]
Echantillon A	0.01-3	0.1-1	-	223	Ce travail
Echantillon B	10-200	5-10	-	174	/
Echantillon C	200-400	10-30	-	260	/

PSF\* ; point de saturation de fibre ou imperméabilité de l'eau dans les fibres

La figure IV.1 montre l'évolution de l'absorption d'eau ou le gain de masse des échantillons étudiés au cours du temps. Dans les premières minutes, on observe une augmentation brusque de l'absorption d'eau pour les échantillons 'B' et surtout 'A', ils peuvent atteindre de 100% pendant 25 minutes



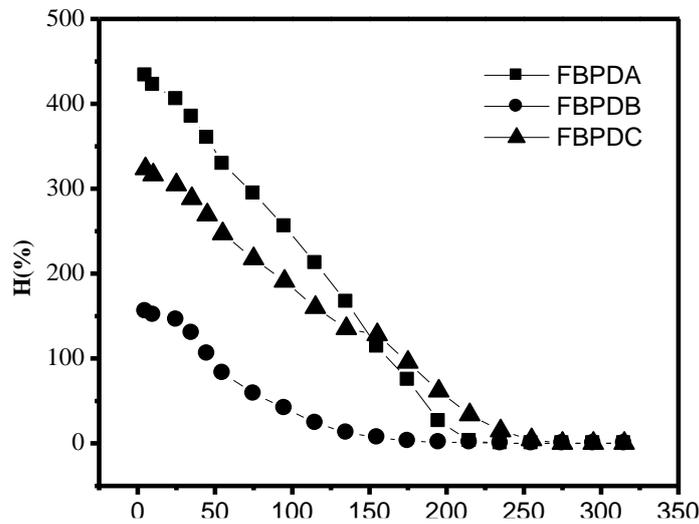
**Figure IV.1** : Evolution de l'absorption des fibres de BPD (A, B, C) en fonction du temps.

Cependant l'absorption de l'eau pour l'échantillon "C" est très lent, il atteint 100% pendant 75 minutes. Le point et le temps de saturation des échantillons (A, B, C) sont différents l'un de l'autre. On remarque que l'échantillon "C" possède un point de saturation élevé, il peut atteindre 260% d'eau absorbé pendant 295 minutes. Pour l'échantillon 'A', le point de saturation est de 223% pendant 135 minutes, puis l'échantillon 'B', 175% de point de saturation pendant 215 minutes. Ces valeurs des points de saturation, sont liées aux caractéristiques hygroscopiques de diverses tailles des fibres de BPD.

## I.2. Influence de l'humidité sur les fibres de bois de palmier dattier

La figure IV.2 représente les variations de l'humidité des échantillons A, B et C en fonction du temps à une température 70°C, les teneurs en eau sont initialement: importantes environ 400% pour l'échantillon 'A', 160% pour l'échantillon 'B' et environ 300% pour l'échantillon 'C'.

On observe que la teneur en eau diminue au cours du temps jusqu'à un taux d'humidité nul

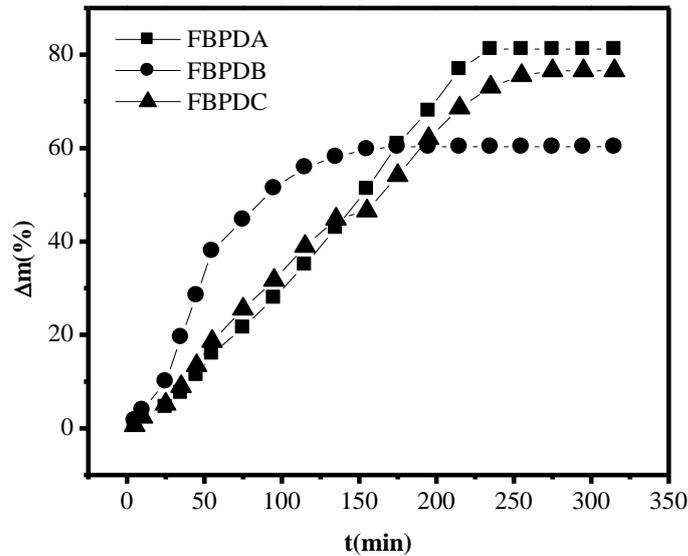


**Figure IV.2 :** Les variations de l'humidité des fibres de BPD (A, B, C) en fonction du temps à une température 70°C.

### I.3. Influence de la température sur les fibres de bois de palmier dattier

La figure IV.3 représente la variation de la perte de masse des échantillons de bois en fonction du temps à une température de 70°C. L'absorption d'eau entraîne un gain de masse du matériau qui résulte d'un gonflement des échantillons et l'augmentation du volume lors du gonflement du bois est égale au volume d'eau liée fixée dans le bois.

On note aussi que l'absorption d'eau des particules est influencée par leurs tailles. Tel que les particules fines absorbent plus d'eau jusqu'à leur saturation que les particules grosses. Car vu la taille fine, la particule est rapidement saturée. On peut dire que le taux d'absorption d'eau du bois de palmier est important.



**Figure IV.3 :** Variations de la perte de masse des fibres de BPD (A, B, C) en fonction du temps à une température 70°C.

La figure IV.3, montre que pour les premiers instants, la perte de l'humidité des trois échantillons (A, B et C) est importante, cela est dû à la facilité d'extraction de l'eau des cavités cellulaires du bois (l'eau libre et vapeur d'eau). Puis, la perte d'eau varie lentement à cause de la difficulté d'extraire de l'eau associée à des parois cellulaires du bois (l'eau liée). Enfin, l'allure des courbes de perte de masse des échantillons est stabilisé successivement après l'extraire des molécules de l'eau ; la fibre mixte (B), puis la fibre fine (A) et enfin la fibre grosse (C). La cause de la stabilisation de la perte de masse des fibres est liée évidemment à l'extraction de l'humidité résiduelle (l'eau libre ou l'eau liée) dans ces fibres sous l'effet de la température. Ceci permet de stabiliser de la masse des fibres.

Donc les variations des tailles des fibres de bois de palmier dattier permettent d'avoir une idée sur la cinétique du phénomène d'absorption et désorption d'eau dans les fibres de bois de palmier dattier. Il est noté que, les fibres fines absorbent plus facilement de l'eau, donc leur taux d'humidité est plus important que les fibres grosses.

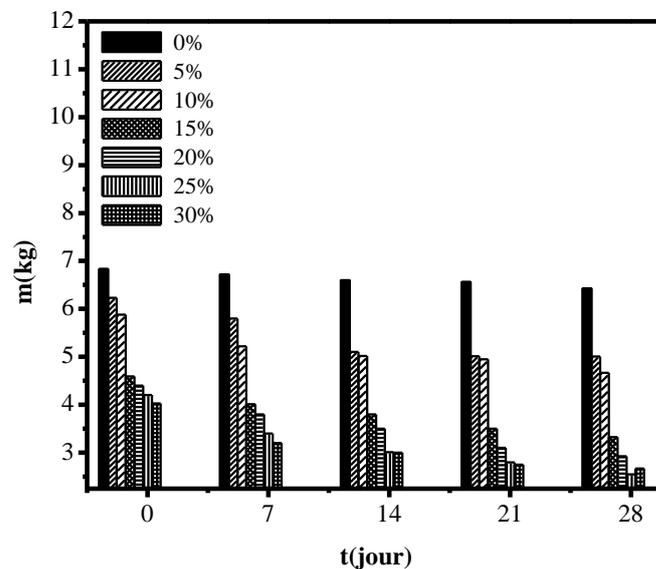
En conclusion, le bois du palmier dattier est très sensible à l'eau et très poreux comparé aux autres fibres naturelles utilisées dans l'isolation thermique, l'absorption d'eau dans le bois de palmier dattier est similaire à celle du sisal et du chanvre, et moins importante que les fibres de banane, tandis qu'elle est plus importante que le liège.

## II. Propriétés de composite avec des fibres de BPD et du mortier

Dans cette partie nous présentons les propriétés des composites des fibres de bois de palmier dattier et du mortier. Nous allons discuter sur les résultats des essais réalisés dans la partie expérimentale, en l'occurrence les propriétés mécaniques, physiques et thermophysiques

### II.1. Perte de masse des composites avec des fibres de BPD et du mortier

Les figures 4, 5 et 6 représentent l'évolution de la masse des composites en fonction de temps pour différentes concentrations des fibres de BPD (fine, grosse et mixte). Il semble que la légèreté des échantillons des composites de bois de palmier dattier et mortier est directement proportionnelle à la proportion de fibres de bois de palmier dattier et de l'âge. Notons que le composite de fibres de BPD (grosses, fines et mixtes) et du mortier séché à l'air libre pendant 28 jours est caractérisé par une légèreté plus élevée que celui d'un mortier sans fibres. En termes de valeurs, la diminution de la masse composite de fibres de BPD (grosses, fines et mixtes) et du mortier, la perte de la masse de mortier sans fibre est de 6%. En revanche, les composites renforcés avec 30% de fibres de BPD ont perdu 50% de la masse.



**Figure IV.4 :** Evolution de la masse des composites en fonction de temps pour différentes concentrations des fibres fines de BPD.

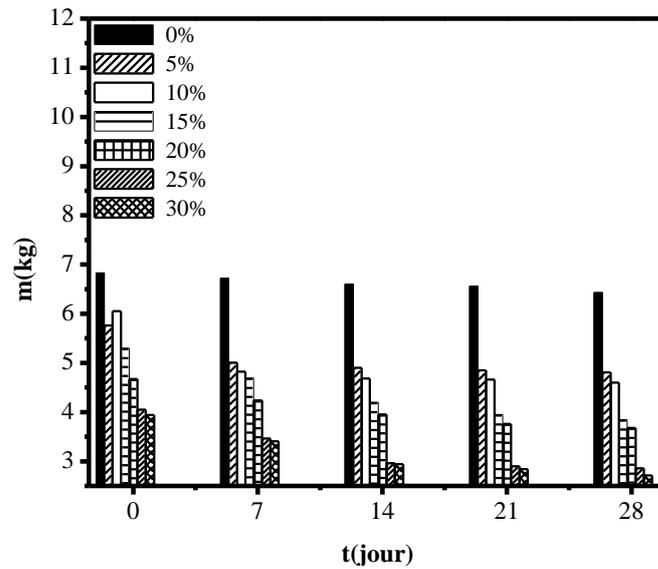


Figure IV.5 : Evolution de la masse des composites en fonction de temps pour différentes concentrations des fibres grosses de BPD.

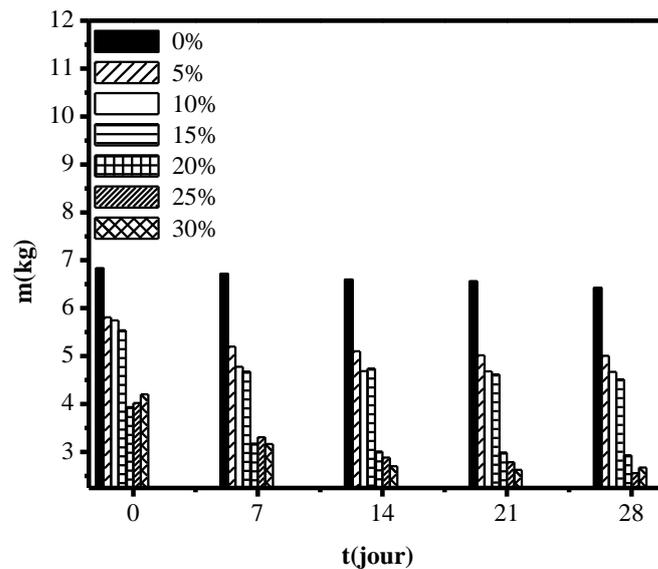


Figure IV.6 : Evolution de la masse des composites en fonction de temps pour différentes concentrations des fibres mixtes de BPD.

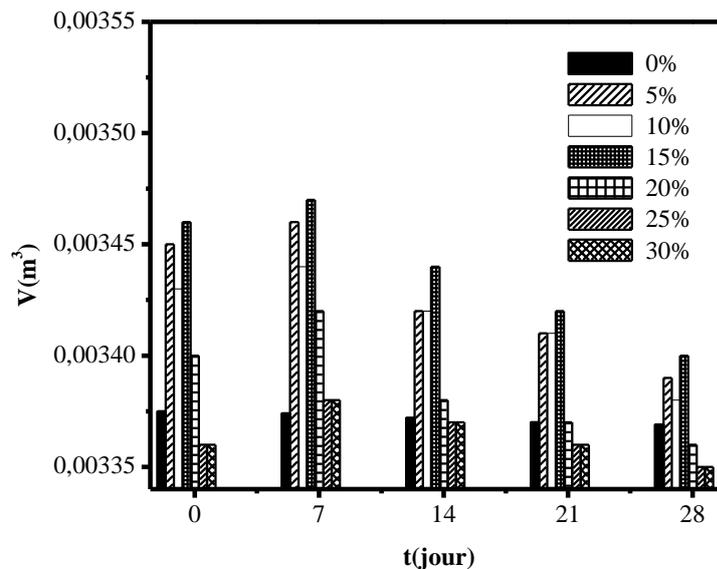
**II.2. Stabilité dimensionnelle des composites des fibres de BPD et du mortier**

Les figures 7,8 et 9 représentent la variation de volume des composites en fonction de temps pour différentes concentrations des fibres de BPD (fine, grosse, mixte). On remarque que les variations dimensionnelles des composites de bois de palmier dattier et du mortier sont très faibles pendant 28 jours. Ces résultats ont été comparés au mortier pur.

Par exemple, le volume diminue de 0.003 % pour un mortier pur .Par contre, le volume diminue de 0.01% pour une composite de 30% de fibre de BPD et du mortier, ces évolutions des volumes ont été enregistrées pendant 28 jours de séchage naturel.

Les résultats obtenus dans notre étude indiquent que l'incorporation de faible ou de grande quantité de fibre de BPD dans le mortier n'influe pas presque sur les dimensions des composite de fibres de BPD et du mortier. Ainsi que le temps de séchage influe plus légèrement sur les dimensions des composites de fibres de BPD et du mortier. Comme, on remarque au cours de 7 jours, il y a un petit élargissement de volume des composites de fibres de BPD et du mortier à partir de 5 % de renfort. Cet élargissement est relié d'une part aux forces de rétrécissement des parois des moules. Puis, le démoulage induit un allongement volumique à cause des forces de contractions entre le mortier et les fibres et d'autre part, à la quantité d'eau de mortier absorbée par les fibres, ce que peut produire une pression interne susceptible de causer cet élargissement. Par ailleurs, on note que le mortier est insuffisamment résistant au temps de recommencement de reprise aux forces de pression des fibres vers le mortier.

La stabilité dimensionnelle est un paramètre important qui peut affecter la durabilité des matériaux de construction en général, mais le retrait et le gonflement sont des phénomènes susceptibles d'entraîner des dégradations. Ces résultats sont en accords avec les résultats de la littérature [5, 6].



**Figure IV.7 :** Variation de volume des composites en fonction de temps pour différentes concentrations des fibres fines de BPD.

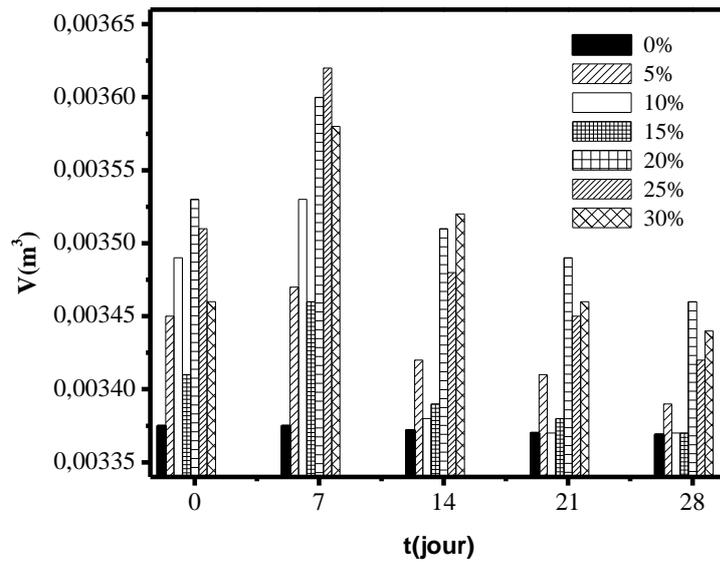


Figure IV.8 : Variation de volume des composites en fonction de temps pour différentes concentrations des fibres grosses de BPD.

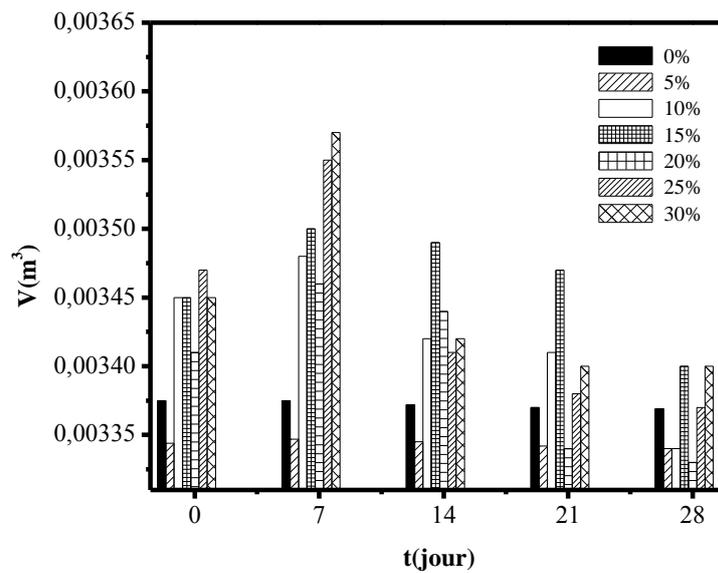


Figure IV.9 : Variation de volume des composites en fonction de temps pour différentes concentrations des fibres mixtes de BPD.

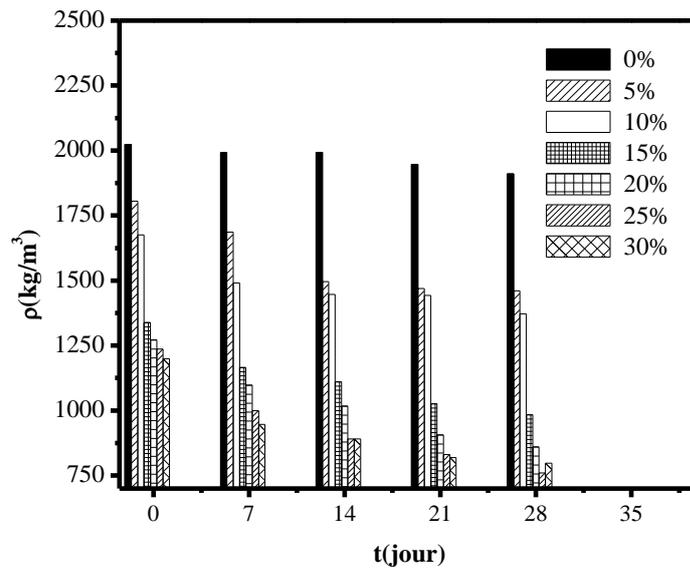
### II.3. Evolution de la masse volumique des composites des fibres de BPD et du mortier

Les figures 10, 11 et 12 représentent l'évolution de la masse volumique des composites en fonction de temps pour différentes concentrations des fibres de BPD (fines, grosses et mixtes). On remarque que la masse volumique diminue en fonction de la concentration des fibres de BPD.

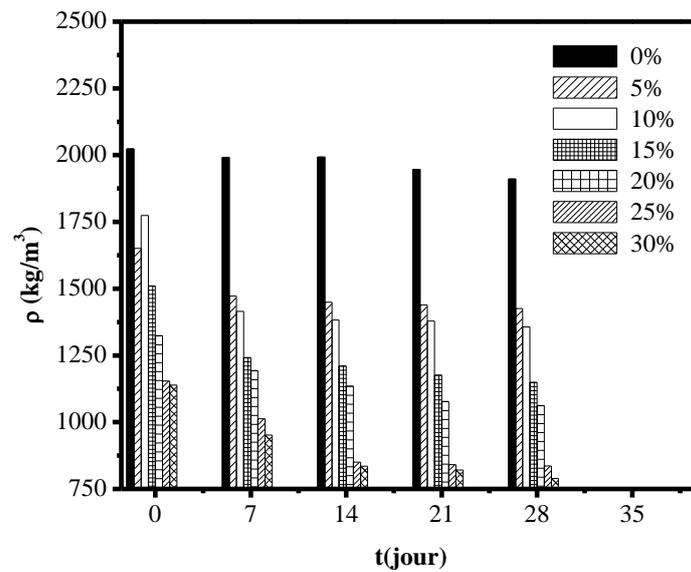
D'après la figure IV.13, on remarque qu'après le séchage naturel pendant 28 jours, la densité des composites de fibres de BPD diminue, lorsque la concentration de fibres de BPD augmente pour les trois tailles des fibres de BPD. Cela est en relation directe avec le pouvoir hydrophélique des fibres qui vaporise une grande quantité d'eau, ce qui induit une densité faible des composites à fibres de BPD et du mortier. Les résultats obtenus dans notre travail expérimental indiquent que l'incorporation de faible ou de grande quantité de fibre de BPD dans le mortier influe directement sur les masses volumiques des composites de fibres de BPD et du mortier. Même remarque est faite pour les échantillons chargés par des fibres fines, des fibres grosses et des fibres mixtes, la taille des fibres n'influe pas sur la stabilité de la masse volumique des composite de fibres de BPD et du mortier. Ce qui montre que l'effet de la concentration des fibres de BPD est plus significative que l'effet de la taille des fibres (fines, grosses et mixtes) dans ces composites.

Cette diminution est d'autant plus prononcée à partir d'une concentration de bois de l'ordre de 20% dans le 28<sup>ème</sup> jour. La masse volumique de mortier pur diminue de 1910,8 kg/m<sup>3</sup> pour le mortier à 840,11 kg/m<sup>3</sup>, 860,29 kg/m<sup>3</sup> et 1062,13 kg/m<sup>3</sup> relatif aux composites des fibres mixtes, fines et grosses. Pour les composites renforcés avec 25 % de fibres de BPD, leur masse volumique diminuent à 750,73 kg/m<sup>3</sup>, 760,41 kg/m<sup>3</sup> et 836,25 kg/m<sup>3</sup> relatif aux composites des fibres mixtes, fines et grosses. Cette variation est reliée à la taille des fibres de BPD, l'ajout de FBPDB diminue la masse volumique du mortier plus que l'ajout de FBPDA et FBPDC. Donc cela peut être considéré comme un avantage pour remplacer les fibres mixtes dans le mortier.

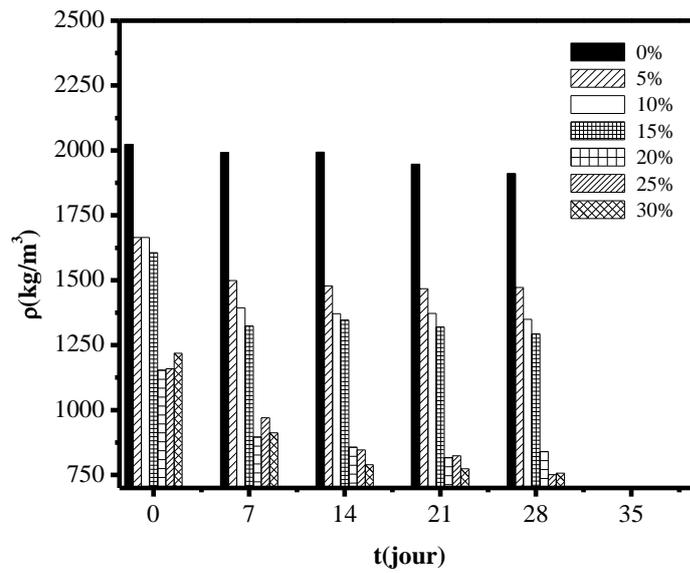
Ces résultats sont en accord avec d'autres études de la littérature [7, 8], qui ont indiqué que l'augmentation du pourcentage des fibres naturels dans la matrice minérale diminue la masse volumique des composites. Cette diminution est reliée d'une part à la faible masse volumique des inclusions et d'autre part, au vide présent dans la matrice engendrés par la perte d'eau des fibres



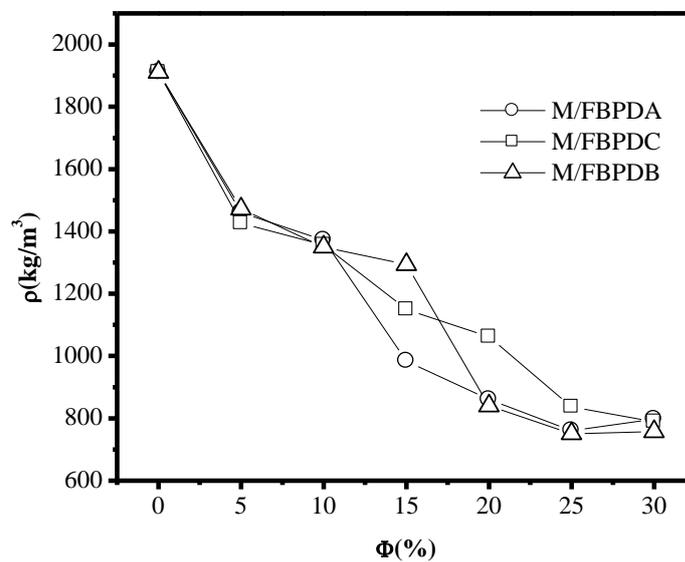
**Figure IV.10 :** Evolution de la masse volumique des composites en fonction de temps pour différentes concentrations des fibres fines de BPD.



**Figure IV.11 :** Evolution de la masse volumique des composites en fonction de temps pour différentes concentrations des fibres grosses de BPD.



**Figure IV.12 :** Evolution de la masse volumique des composites en fonction de temps pour différentes concentrations des fibres mixtes de BPD.



**Figure IV.13 :** Evolution de la masse volumique des composites en fonction de la concentration des fibres de BPD (A, B, C) pendant 28 jours.

### **III. Propriétés thermophysiques des composites des fibres de BPD et du mortier**

#### **III.1. Etat sec**

##### **III.1.1. Conductivité thermique**

La figure 14 représente l'évolution de la conductivité thermique des composites des fibres de BPD et du mortier de différentes charges (mixtes, grosses et fines) et différentes concentrations pendant 28 jours de séchage naturel. On remarque que la diminution de la conductivité thermique est évidemment liée à l'augmentation de la concentration des fibres de BPD.

La conductivité thermique  $k$  du mortier renforcé avec 5% de fibres mixtes ou de fibres fines diminue de  $0.8039 \text{ W.m}^{-1}\text{k}^{-1}$  à  $0.3933 \text{ W.m}^{-1}\text{k}^{-1}$ . Par contre, le mortier renforcé avec 5% des fibres grosse diminue à  $0.6277 \text{ W.m}^{-1}\text{k}^{-1}$ . Mais pour ajouter de 30% de fibres mixtes ou des fibres fines,  $k$  diminue à  $0.10 \text{ W.m}^{-1}\text{k}^{-1}$ . Cependant, le cas des fibres grosses,  $k$  diminue à  $0.0603 \text{ W.m}^{-1}\text{k}^{-1}$ . Cette différence entre les valeurs de types de charge est liée principalement au caractère isolant des fibres de BPD.

Les mesures effectuées sur ces composites montrent que les composites à base de ciment renforcés par des fibres de BPD (fibres fines ou mixtes) possèdent une conductivité thermique supérieure à celle des composites renforcés par des fibres grosses de BPD. Ce comportement est peut être du à la procédure de mise en œuvre de ces composites, où les petites fibres ont une bonne homogénéité dans le mortier. Par contre, les fibres grosses ne sont pas compatibles avec le mortier pendant le malaxage. Cela est dû à l'hétérogénéité des fibres dans le mortier.

Cependant, on remarque pour le mortier chargé de 30% de fibres grosses, la conductivité thermique du mortier devient plus faible par rapport aux composites à fibres fines et mixtes. Mais la concentration 30% n'est pas optimale, parce que les propriétés mécaniques du mortier sont insuffisantes. Cette évolution est similaire à celles obtenues par les travaux rapportés par les auteurs [9]. Ils ont démontré que le liège et le plâtre ont de bonnes propriétés d'isolation thermique. Mais aussi il faut prendre en considération l'effet des concentrations élevées sur les propriétés mécaniques de ce composite.

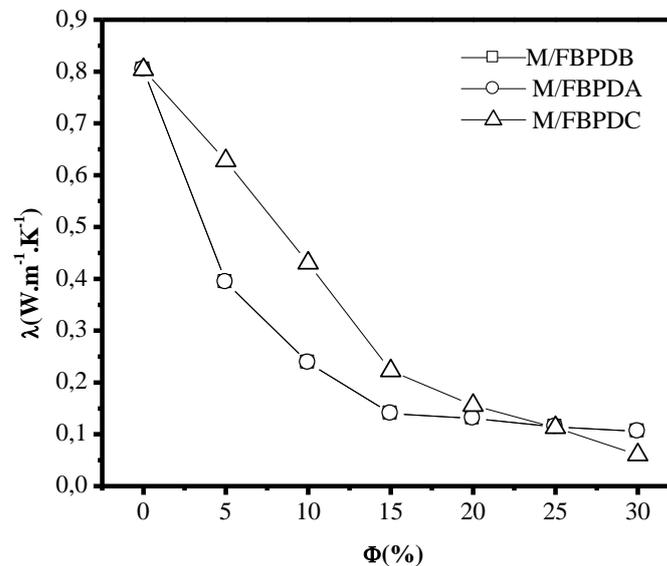
##### **III.1.2. Diffusivité thermique**

La diffusivité thermique des composites des fibres de BPD et du mortier de différentes charges (mixtes, grosses et fines) et différentes concentrations pendant 28 jours de séchage

naturel. On remarque que l'augmentation de la concentration des fibres de BPD conduit à la diminution de la diffusivité thermique. La diffusivité thermique du mortier diminue de  $0,4975.10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$  à  $0,2527.10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ , si on ajoute 5% des fibres mixtes ou des fibres fines. Pour les fibres grosses, elle diminue à  $0,3824.10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ . Pour une concentration de 30% des fibres mixtes ou des fibres fines, la diffusivité diminue, respectivement à  $0,0658.10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$  et  $0,0747.10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ . Pour les fibres grosses, elle diminue à  $0,0429.10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ . Pour une concentration de 30% des fibres mixtes ou des fibres fines, la diffusivité diminue, respectivement à  $0,0658.10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$  et  $0,0747.10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ . Pour les fibres grosses, elle diminue à  $0,0429.10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ .

### III.1.3. Chaleur spécifique volumique

La chaleur spécifique des composites des fibres de BPD et du mortier de différentes charges (mixtes, grosses, fines) et différentes concentrations pendant 28 jours de séchage naturel. On remarque que l'ajout des fibres de BPD au mortier diminue la chaleur spécifique. Généralement la chaleur spécifique du matériau composite, dépend de celles des concentrations des fibres qui le constituent. Les résultats obtenus montrent que l'effet de la taille des fibres de BPD sur la chaleur spécifique du mortier est négligeable.



**Figure IV.14:** Evolution de la conductivité thermique du mortier chargé de fibres de BPD (A, B, C) pendant 28 jours.

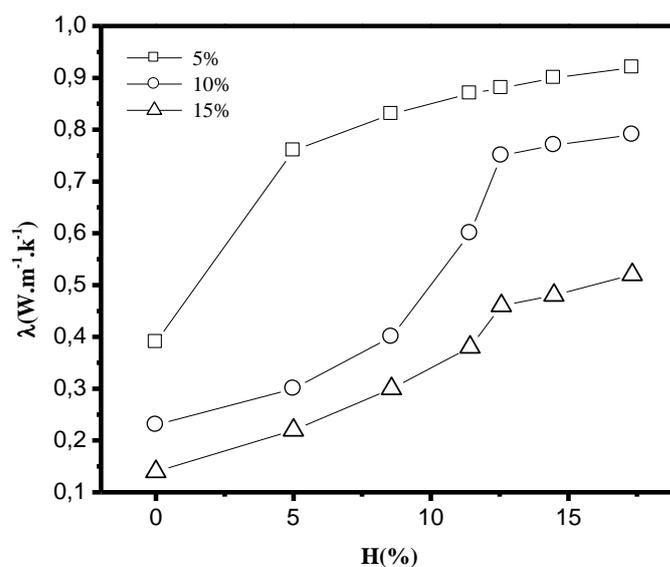
## III.2. Etat humide

### III.2.1. Conductivité thermique

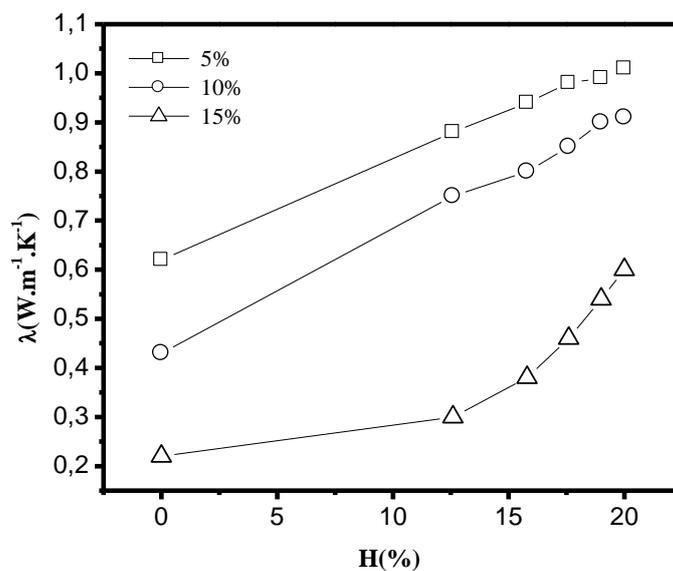
Les figures 15,16, 17, 18, 19 et 20 représentent l'évolution de la conductivité thermique pour les composites des différentes concentrations des fibres de BPD (fines, grosse et mixte) et du mortier en fonction de taux d'humidité. Ces résultats montrent clairement que la conductivité thermique augmente en fonction de taux de l'humidité dans ces composites.

La conductivité thermique des composites de 5% des fibres fines de BPD à l'état sec augmente de  $0.3932 \text{ W.m}^{-1}\text{k}^{-1}$  à  $0.9263 \text{ W.m}^{-1}\text{k}^{-1}$  à l'état saturé, pour le composite contient des fibres mixtes, la conductivité thermique à l'état sec augmente de  $0,3933 \text{ W.m}^{-1}\text{k}^{-1}$  à  $0.9056 \text{ W.m}^{-1}\text{k}^{-1}$ , et pour le composite contenant des fibres grosses, la conductivité thermique à l'état sec augmente de  $0.6277 \text{ W.m}^{-1}\text{k}^{-1}$  à  $1.0115 \text{ W.m}^{-1} \text{ k}^{-1}$  à l'état saturé. On peut remarquer que l'humidité influe beaucoup plus sur les composites renforcés par des fibres fines et des fibres mixtes que les composites chargés par des fibres grosses. Cela est lié à la capacité élevée d'absorption de l'eau des fibres fines et de fibres mixtes que les fibres grosses. Un comportement similaire est rapporté par les auteurs de [10], qui ont étudié la conductivité thermique en fonction de le taux de l'humidité de deux matériaux naturels; la poudre de blé et les grains de blé, ils ont constaté que la conductivité thermique de la poudre de blé et les grains de blé augmente quand le taux de l'humidité augmente. Donc la valeur de la conductivité thermique est très importante lors du choix des tailles des fibres de BPD pour les composites de FDBP et du mortier.

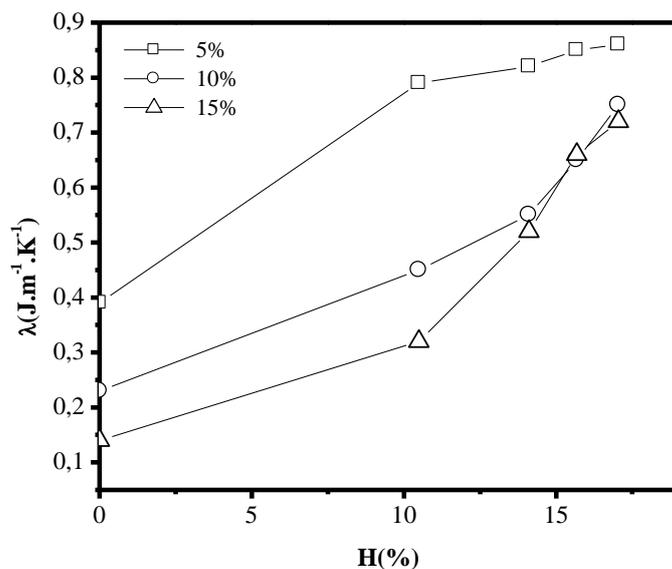
Le même comportement à été constaté pour la diffusivité et la chaleur spécifique de tout les composites. Pour ne pas alourdir la lecture de ce document, nous nous limitons aux résultats de la conductivité thermique.



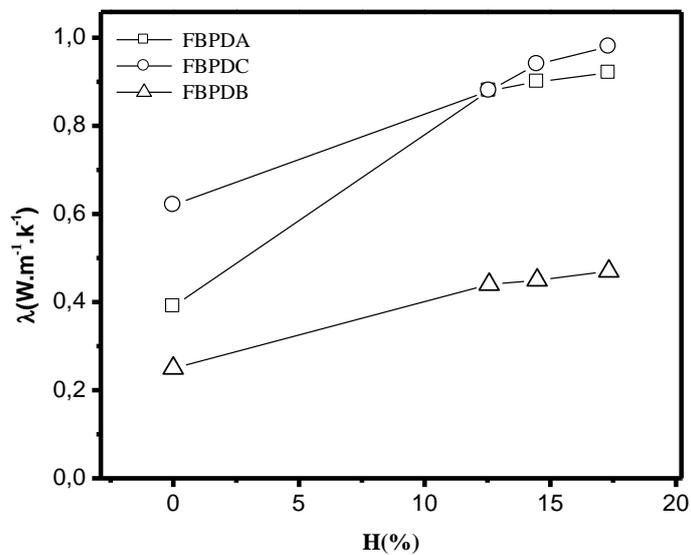
**Figure IV.15:** Evolution de la conductivité thermique du mortier chargé de fibres fines de BPD (5%, 10%, 15%) en fonction de taux d'humidité.



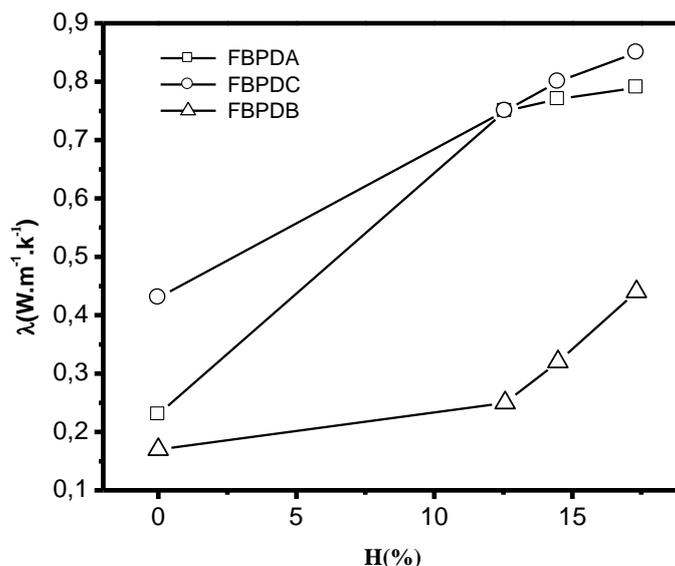
**Figure IV.16:** Evolution de la conductivité thermique du mortier chargé de fibres grosses de BPD (5%, 10%, 15%) en fonction de taux d'humidité.



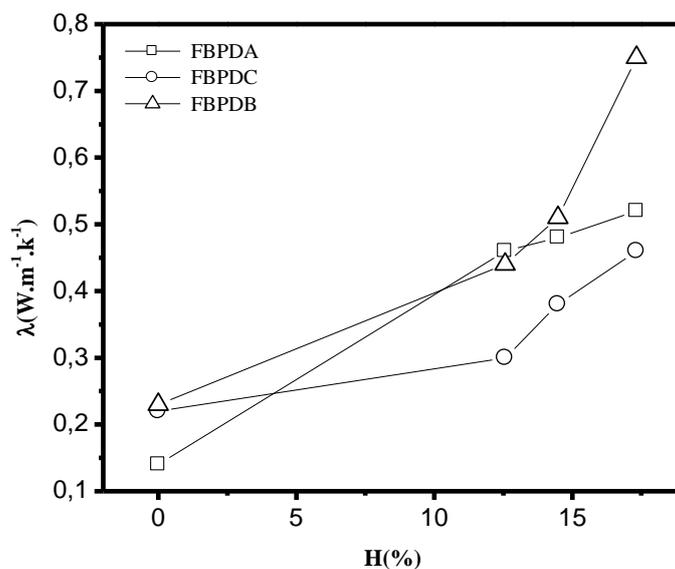
**Figure IV.17:** Evolution de la conductivité thermique du mortier chargé de fibres mixtes de BPD (5% ,10% ,15%) en fonction de taux d'humidité



**Figure IV.18:** Evolution de la conductivité thermique du mortier chargé de 5% de fibres de BPD (A, B, C) en fonction de l'humidité



**Figure IV.19:** Evolution de la conductivité thermique du mortier chargé de 10% de fibres de BPD (A, B, C) en fonction de l'humidité.



**Figure IV.20:** Evolution de la conductivité thermique du mortier chargé de 15% de fibres de BPD (A, B, C) en fonction de l'humidité

### III.3. Propriétés mécaniques

L'ajout de fibres naturelles de bois de palmier dattier dans le mortier entraîne des modifications importantes sur ses performances mécaniques, la résistance à la compression est concernée. Dans cette étude, deux paramètres sont étudiés à savoir, la concentration et le type de taille des fibres.

La résistance à la compression du mortier chargé par les fibres BPD (grosses, mixtes et fines) aux différents concentrations est présentée dans la figure IV.21.

#### III.3.1. Résistance à la compression

La figure IV.21 représente la variation de la résistance à la compression des composites des différentes concentrations des fibres de bois de palmier dattier et du mortier pendant 28 jours. Ces résultats montrent que la résistance à la compression diminue en fonction de la concentration des fibres. Il a été constaté que la résistance à la compression des composites après 28<sup>ème</sup> jour de séchage naturel est inférieure à celle du mortier (0%FBPD). Il est clair que le gain de légèreté obtenu par ajout de fibres de bois de palmier dattier est accompagné malheureusement par des pertes en résistance mécanique dues à la diminution de la compacité du matériau. Plus la proportion des fibres de bois est élevée, plus la résistance est faible. Cela est logiquement dépend de l'augmentation de la zone interfaciale entre la fibre et la matrice (voir la figure IV.22).

Par ailleurs, il convient de noter que ces pertes en résistance vont sûrement être remplacées par un gain d'autres propriétés intéressantes telles que la légèreté, l'isolation thermique et l'isolation acoustique.

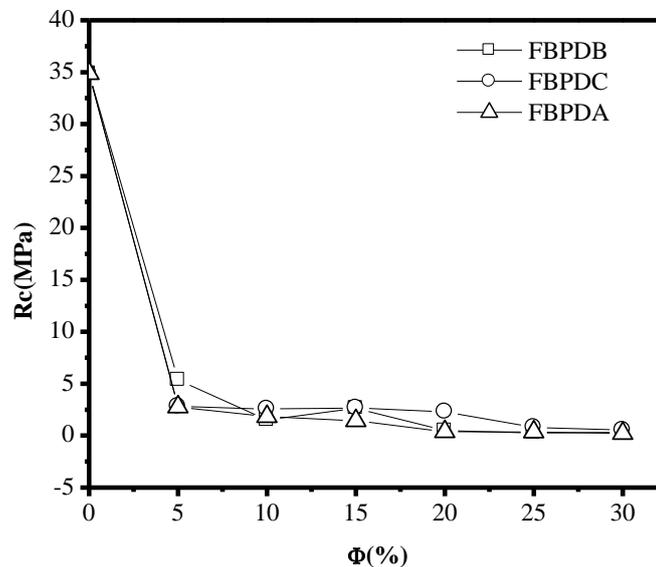
On remarque que la résistance à la compression des composites à base de trois différentes tailles de fibres de BPD après 28<sup>ème</sup> jour est généralement plus inférieure à celle du mortier pur.

La figure IV.21 représente la résistance à la compression des composites à base de mortier renforcés par trois différentes tailles de FBPD après 28<sup>ème</sup> jour. En comparaison avec le mortier pur (0%FBPD), les composites chargés avec 5% de FBPD la résistance à la compression diminue de 34MPa à 5MPa. Alors que, les composites chargés avec les fibres FBPD et FBPDCA diminuent à 3MPa. En revanche la concentration des fibres atteint 20%, la valeur de la résistance à la compression des composites FBPD et FBPDCA a diminué jusqu'à

0.4 MPa. Mais pour les composites chargés de FBPDC de même concentration des fibres (20%) restent maintenir ses résistances à environ 2.5 MPa.

Ce comportement est principalement lié à la baisse du taux d'hydratation dans les composites, qui a été également observée par les auteurs de[11], qui ont déterminé expérimentalement les propriétés mécaniques des mortiers renforcés par des fibres de lièges. Ces recherches ont montré que lorsque la concentration en fibres augmente, le taux d'hydratation diminue, ce qui diminue par conséquent la résistance à la compression au 28<sup>ème</sup> jour.

Le mortier sans fibres reste le plus résistant et présente un résultat positive de résistance proche de celle de béton ordinaire, la résistance à la compression est entre 34 et 36 MPa. Ce résultat est en accord avec les résultats de la littérature[11-13], qui ont met en évidence la chute de durabilité des fibres de palmier dattier dans le ciment. Ils ont constaté que l'ajout de fibres végétales au mortier n'a aucun effet bénéfique sur la résistance à la compression. Cela est expliqué par le fait que l'incorporation des fibres dans la matrice du mortier augmente le volume des vides et diminue la compacité du mortier, d'où une diminution de résistance à la compression.



**Figure IV.21:** Variation de la résistance à la compression du mortier chargé de fibres de BPD (A, B, C) pendant 28 jours.



**Figure IV.22:** Visualisation de l'aspect général du béton à base de fibres de bois de palmier dattier après l'écrasement.

#### III.4. Dégradation des échantillons

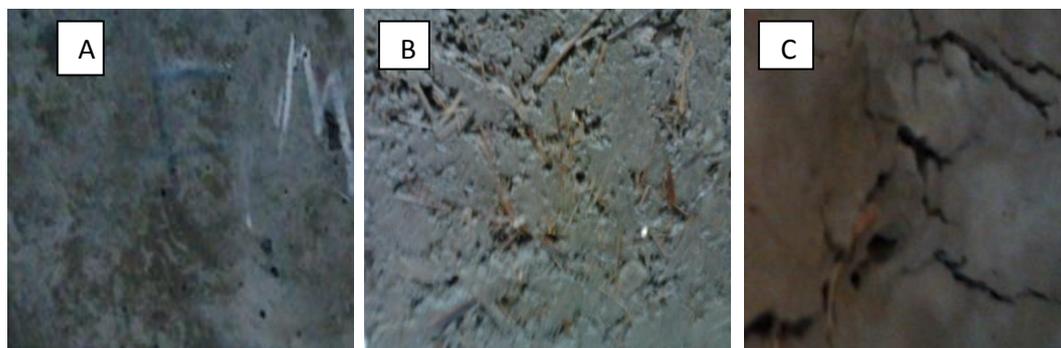
Au sein d'un matériau composite à matrice cimentaire renforcé par les fibres (fines, grosses et mixtes) de bois de palmier dattier de 15% de concentration immergé pendant un mois, l'eau interagit avec la matrice, avec le renfort et les zones interfaciales. La figure IV.23 montre que les cinétiques de diffusion de l'eau dans ce composite de fibres de BPD et du mortier, varient selon le type de charge (grosse, fine et mixte). On observe que l'effet de la dégradation des composites n'est pas le même, quand la taille des fibres est élevée, la dégradation des composites est dangereuse.

D'après la figure IV.23, la sorption d'eau dans les composites dépend de la taille des fibres. Les composites renforcés par les fibres de BPD grosses apparaissent clairement dégradés après un mois d'immersion dans l'eau à température ambiante et de  $\text{pH} = 7.5$ . On remarque des fissures de multi sens sur la surface de composite. Par contre, les composites renforcés par des fibres mixtes ont des grandes pores ouvertes que celles des composites renforcés par fibres fines. Les auteurs de [14] ont montré que pour des composites à matrice organique synthétique, un vieillissement de 1000 heures, dans l'eau à  $60^\circ\text{C}$  provoquait la même dégradation que 15 ans dans des conditions naturelles.

Le renforcement du ciment par des fibres de bois de palmier dattier entraîne une augmentation du pouvoir hygroscopique. La présence des fibres au sein de la matrice cimentaire est à l'origine de mécanismes additionnels: transport capillaire au niveau des défauts d'adhésion à l'interface fibre/matrice et au niveau des microfissures présentes dans la matrice.

L'utilisation de fibres végétales contribue à augmenter la capacité de stockage en eau du matériau après un mois d'immersion dans l'eau à température de  $25^\circ\text{C}$ . Les tissus des fibres de bois de palmier dattier sont des matériaux fortement hygroscopiques. Ils peuvent contenir de l'eau sous deux formes: l'eau libre et l'eau liée. L'eau libre remplissant les vides

cellulaires est retenue par des mécanismes de pression capillaire. La structure macromoléculaire et en particulier les groupes hydroxyles des polysaccharides, fortement hydrophiles. L'insertion des molécules d'eau au sein des macromolécules hydrophiles et dans les interstices entraîne le gonflement des composites, ce qui peut induire aux fissures.



**Figure IV.23:** Image visuelle des composites à 15% des fibres de bois de palmier dattier immergé dans l'eau pendant 720 heures ; A : fibres fines, B : fibres mixtes, C : fibres grosses.

La facies générale de dégradation, il apparaît clairement que l'absorption d'eau est à l'origine de plusieurs mécanismes de dégradation irréversible engendrant une forte réduction des propriétés mécaniques. L'absorption d'eau semble entraîner, outre les modifications macromoléculaires traditionnelles chez les échantillons, une décohésion de l'interface fibre-matrice due aux gonflements différentiels des constituants et à l'hydrolyse de la matrice biosourcée. De même, des expositions prolongées à des ambiances hygrothermiques conduisent inévitablement à la dégradation des fibres végétales.

### III.5. Conclusion

La caractérisation de composite de fibres de BPD a permis de noter les conclusions suivantes :

- L'incorporation de fibres de BPD dans le mortier améliore la propriété thermique d'isolation
- Selon la quantité de fibres de BPD, il est possible d'avoir des résistances mécaniques intéressantes.
- Selon la quantité de fibres de BPD, il est possible d'avoir, donc, toutes les catégories de mortiers légers.
- La structure paraît relativement homogène et compact avec une bonne adhérence de fibres de BPD avec le mortier surtout quand on ajoute des faibles quantités de fibres de BPD.

-Le seul inconvénient enregistré est la diminution de la résistance mécanique quand la quantité de fibres de BPD augmente et l'augmentation de la conductivité thermique quand l'humidité augmente.

En fin, il faut proposer une tentative de traitement des fibres de BPD incorporés dans le mortier pour résoudre le problème de l'incompatibilité et de l'absorption d'eau qui conduira au gonflement des fibres et donc à la dégradation de la matrice (mortier), tout en augmentant considérablement la résistance mécanique et sans trop affecter les bénéfices obtenus en pouvoir isolant et en légèreté.

#### IV. Références

- [1] S. Abani, A. Kriker, A. Bali, "effect of curing and mix design types on performance of date palm fibres reinforcement concrete under hot dry environment," 2008.
- [2] H.S. Agopyan, V.M. John, M.A. Cincotto, "Developments on vegetable fibre-cement based materials," *Cement & Concrete Composites*, vol. 27, pp. 527-536, 2005.
- [3] S. Fernando, J. Pacheco-Torgal, "Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres," vol. 25, pp. 575-581, 2011.
- [4] V. Cerezo, "Propriétés Mécaniques, Thermiques et Acoustiques d'un matériau à base de particules Végétales: approche expérimentals et Modélisation Théorique."
- [5] A. Ledhem, "Contribution à l'étude d'un béton de bois. Mise au point d'un procédé de minimisation des variations dimensionnelles d'un composite argile-ciment-bois," *Institut national des Sciences Appliquées, Lyon-France*, 2005, pp. 255.
- [6] P. Pimienta, J. Chandellier, M. Rubaud, F. Dutruel, H. Nicole, "Étude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois," *Cahier du Centre scientifique et technique du bâtiment N° 2703. Centre scientifique et technique du bâtiment, Paris*, 1994.
- [7] T. Ashour, H. Georg, F.J. Bockisch, W. Wu, "The influence of natural reinforcement fibres on insulation values of earth plaster for straw bale buildings," *Materials and Design*, vol. 31, pp. 4676-4685, 2010.
- [8] D.K. Panesar, B. Shindman, "The mechanical, transport and thermal properties of mortar and concrete containing waste cork," *Cement & Concrete Composites*, vol. 34, pp. 982-992, 2012.
- [9] F. Hernandez-Olivares, M. del Rio, B. Parga-Landa, B. Parga-Landa, "Development of cork gypsum composites for building applications," *Construction and Building Materials*, vol. 13, pp. 179-186, 1999.
- [10] M. Božiková, "Thermophysical parameters of corn and wheat flour," vol. 49, pp. 157-160, 2003.
- [11] A. Kriker, "Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec," *ENP, Alger*, 2005.
- [12] S. Abbani, "Caractérisation et durabilité des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier," *université d'Ouargla*, 2003.
- [13] F. Mokhtari, "Contribution à l'étude des composites à base de liants pouzzolaniques et de bambou," *INSA. Lyon*, 1999.

- [14] J.F. Gutierrez, P. Hoarau, "Etude du vieillissement de composite verre résine en milieu marin," *Construction navale en composites, paris-France*, 1992.



# **Conclusions générales et recommandations**

Ce travail présente les résultats d'une étude expérimentale d'un mortier à base de bois de palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*). Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

L'étude bibliographique a montré que la structure et la composition chimique des matériaux naturels affectent leurs propriétés physiques (comme les propriétés mécaniques et thermiques,...). En outre, les différents constituants des matériaux naturels (fibre de bois de palmier dattier, liège de certaines arbres,...) peuvent être exploités dans plusieurs applications industriels; géotextile et les matériaux de construction et d'isolation thermique.

Par ailleurs, il a été constaté que la durabilité, compatibilité de ciment avec le bois et les types de dégradation (mécanique et chimique) influent sur les composites à base de fibres végétales.

L'étude présentée consiste en premier temps à élaborer des échantillons à base de bois de palmier dattier et de mortier. La première étape de notre travail expérimentale consiste à faire une caractérisation générale des fibres de bois de palmier dattier, à savoir le séchage, la saturation, la perte de masse et le gain de masse

La cinétique du séchage a permis de conclure que:

- Le séchage élimine une grande quantité d'eau du bois de palmier à une température d'environ de 60°C ou 70 °C, selon la variété de bois, pendant 24 heures.
- A une température de 90°C, le bois s'équilibre avec l'environnement où la perte d'eau est peu importante et la stabilité des masses des échantillons est obtenue.
- Les fibres de bois de palmier dattier peuvent perdre 80% de leur poids et elles peuvent absorber 180% d'eau à partir de l'état sec.

La deuxième étape de notre travail expérimentale consiste à faire une caractérisation (physique, thermophysique, mécaniques et dégradabilité ) des composite a base des fibres de bois de palmier dattier.

L'étude sur un mortier pur et un mortier chargé par des fibres de bois BPD a montré que :

- L'augmentation de la concentration des fibres de BPD dans le mortier provoque une chute considérable de la densité volumique, de la conductivité thermique et de la résistance mécanique.

- La résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage des fibres. Cela est en accord avec la littérature. En effet, la majorité des auteurs rapportent que l'ajout des fibres végétales au béton ou au mortier n'améliore pas sa résistance à la compression.

Nous avons remarqué aussi, l'absence d'une bonne activité d'hydratation entre le ciment et les fibres surtout à partir d'une concentration de 20% de fibres de BPD, ce comportement a conduit à l'apparition des fissures sur ces composites.

La caractérisation thermophysique des matériaux à base de BPD montre que les fibres de BPD donnent une bonne propriété de l'isolation thermique. A titre d'exemple la conductivité thermique dans le cas de l'état l'humide peut atteindre  $0.7 \text{ W.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$  par contre la conductivité thermique dans le cas de l'état sec est de l'ordre de  $0.1 \text{ W.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$ . Ce résultat confirme que les fibres de bois de palmier dattier ont une bonne isolation thermique au milieu humidifié. En revanche, les mortiers sans fibres de BPD peuvent atteindre  $0.86 \text{ W.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$  au milieu sec.

L'influence de l'eau sur les mortiers chargés par des fibres de BPD explique clairement que cela mène à la dégradation irréversible. Ce qui induit une réduction des propriétés mécaniques de ces composites. En effet, l'incorporation de l'eau dans le mortier chargé par des fibres de BPD vient d'une partie qui modifie les propriétés structurales: la décohésion de l'interface fibre-matrice à cause du gonflement surtout dans le cas des fibres grosses et la fissuration.

### **Recommandations**

D'après les résultats obtenus par cette recherche, et en vue d'une future utilisation rationnelle de ces matériaux composites, nous recommandons de compléter cette recherche par les axes suivants :

- L'étude de la durabilité de béton de fibres de palmier dattier à l'aide d'autres procédures pour l'amélioration de la durabilité de la matrice cimentaire. A titre d'exemple par la carbonisation à jeune âge, par un gaz carbonique dans un milieu humide ou bien le traitement des fibres par d'autres procédures chimiques.

-Ajouter certains produits argileux aux mortiers à base de ciment pour améliorer la compatibilité de ciment avec le bois comme la pouzzolane.

- Proposition des solutions techniques pour augmenter l'activité hydraulique du ciment avec le bois de palmier dattier

Les propriétés mécaniques mesurées dans le cadre de cette étude laissent entrevoir des perspectives intéressantes à l'utilisation des composites à fibres végétales et d'autres matrices compatibles à son renfort.

**Titre du mémoire :** Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert.

**Option :** Science des matériaux

**Auteur :** KARECHE Abdelhak

**Mots clés :** Composites, palmier dattier, mortier, Conductivité thermique, isolation thermique, propriétés mécaniques, dégradation.

**Adresse :** Université HADJ LAKHDAR Batna, 1, rue Boukhlof Med El Hadi, 05000 Batna, Algérie.

### Résumé

L'objectif de ce travail est de fournir une réflexion à la fois très appliquée mais aussi fondamentale sur les procédés de l'isolation thermique dans le but d'améliorer les conditions de confort dans les bâtiments. Cette étude est consacrée à (i) la conception et le développement de nouveaux composites à base du palmier dattier et du mortier, (ii) l'étude de la microstructure des matériaux élaborés, (iii) l'étude de la durabilité et de la dégradation du bois de palmier utilisé. Il a été démontré dans ce travail que les composites à base de bois de palmier dattier est un bon candidat pour être utilisé comme isolant thermique dans le bâtiment. Par ailleurs, les expositions prolongées des composites biosourcés à des ambiances hygrothermiques conduisent inévitablement à la dégradation des fibres végétales.

**Report title:** study of materials reinforced with date palm wood: durability, degradation, structurals and transfers properties.

**Keywords:** Composites, date palm, mortar, thermal conductivity, thermal isolation mechanical properties, degradation.

### Abstract

The aim of this work is to provide a reflection both very basic but also applied to the processes of thermal insulation in order to improve the comfort in buildings. This study is devoted to (i) the design and development of new composites based on date palm wood and mortar, (ii) the study of the microstructure of materials developed, that the composite based on date palmwood is a good candidate for use as thermal insulation in the building. Besides, extended exposure of bio-based composites to the hydrothermal environments leads inevitably to the degradation of fiber.

### ملخص

الهدف هو فكرة تطبيقية و نظرية حول أساليب العزل الحراري من أجل تحسين ظروف الراحة الجيدة و الرفاهية في المباني. هذه الدراسة تعتمد على (أولاً) تصميم وتطوير المركبات الجديدة بألياف النخيل وعجائن الاسمنت (ثانياً) دراسة البنية المهجرية للمواد المستعملة (ثالثاً) دراسة المتانة وتدهور خشب النخيل المستخدمة. ولقد اثبت في هذا العمل أن مركب خشب النخيل هو مرشح جيد لاستخدامه كعازل حراري في المباني. وبالإضافة إلى ذلك تعرض هذه المركبات الحيوية لفترات طويلة للرطوبة الحرارية سيؤدي حتماً إلى تدهور الألياف النباتية.

**الكلمات المفتاحية:** المركب-خشب النخيل-عجائن الإسمنت-الناقلية الحرارية- العزل الحراري- الخصائص الميكانيكية-التآكل.